

Atom Enerjisi ve Üretimi, Diğer Enerji Kaynaklarıyla Ekonomik Kıyaslama

Tahsin ARMAY

Y. Müh. - İ.T.Ü ve E.S.E.

Bugün, başka memleketlerde atom enerjisiyle uğraşacak Bakanlıklar kurulmaktadır. Gelecekte de elektrik mühendisleriyle fizikçilerin «Nükleer mühendisliği» alanında birleşmesini beklemek yerinde olacaktır.

Tarihin çok iyi bilinen dört çağına (ilk, orta, yeni ve yakın çağlara) bir beşincisini «Nükleer çağı veya Atom çağı» eklemek zamanı çoktan gelmiştir.

Dünyamızın bütün milletleri atom çekirdeğinde depolanmış enerjinin büyük bir gelecek vaat ettiğini anlamışlardır. Zamanımızda, bilim adamlarına göre bilimin amacı, toplumun ilerlemesini sağlamaktır.

Ankara'daki Dil — Tarih ve Coğrafya Fakültesi ön duvarında belirtildiği gibi, Atatürk'ün «Hayatta en hakiki mürşit ilimdir» sözünü yerine getirmek için, ahlâk ile beraber bilim ve teknolojiyi, toplumun temeli haline getirmemiz lâzımdır.

Son yıllar içinde, bilim ve teknolojinin bütün şubelerinde önemli ilerlemeler olmuştur. Galile, Kepler ve Kopernik'in zamanında güneş, kâinatın merkezi olarak kabul edilmişti. Daha sonra gözlemciler, güneşimizin Samanyolu içinde küçük bir nokta gibi kaldığını görmüşlerdir. Bugünkü astronomlar, 1871 metre yükseklikteki Palomar dağında (Kaliforniya) kurulu beş metre çaplı teleskopla, Galile'nin görmüş olduğu yıldızların 10.000 kat sayıya yeni Samanyolları görebilmektedirler. Radar tekniğinin uygulandırılmasından meydana getirilen «Radyo - Astronomi» şubesiyle, gökte teleskopların göremediği yıldızları tespit etmek mümkün olmuştur.

Çok geçmeden, önümüzdeki yıllarda, kâinatın büyüklüğünü ve meydana geliş şeklini» öğrenmemiz de mümkün olacaktır.

Şimdi bir denizaltı gemisine monte edilecek küçüklükte Nükleer reaktörler yapılmakta olup, bu denizaltı gemileri yeniden yakıt almaksızın dünyayı bir kaç defa dolaşabilmektedir.

Göklerde «Ses Duvarı» denilen saata 1080 kilometreli hız çoktan bir kaç kat aşılmıştır. Daha şimdiden, hızları saatta 40.000 kilometreyi aşan ve dünyamızın çekimi dışına çıkabilen ve elektronik kumandalarla yer yüzündeki herhangi bir hedefe

gönderilebilecek şekilde hidrojen bombaları taşıyabilen güdümlü mermiler yapılabilmektedir. Bu cins silâhlar, gelecek dünya savaşlarında çok basit savaş aracı sayılacaktır.

Bilim ve teknolojinin bütün imkânlarından faydalanabilmek amacıyla ileri memleketler, bilim adamlarının sayısını arttırmaya çalışmaktadırlar. Amerika ve Rusyadaki bilim adamı ve teknik eleman sayısı 1965 yılına kadar üç milyonu aşacaktır. Bu miktar bilim adamı, bu iki memleket toplam nüfusunun % 05'i kadardır. Aynı orantıyı memleketimiz nüfusuna kıyaslırsak, memleketimizin muhtemel bilim adamı ve teknik eleman ihtiyacının 1965 yılı için 150.000 olduğunu görürüz. Şüphesiz şimdiki durum, bu miktarın takriben 1/10'u kadardır.

Memleketimizin bugünkü endüstriyel, teknolojik ve bilimsel kapasitesine göre, adı geçen sayıda bilim adamının ve teknik elemanın kullanılması şimdilik bir hayal olmaktan ileri geçemez.

Fakat, durumun böyle olması, teknik eleman konusunun ihmal edilmesini haklı gösteremez. Bir bilim ve teknik eleman ordusuna olan ihtiyacımız, sadece ekonomik ve sosyal refahımız için değil, aynı zamanda vatanımızı savunmak ve varolmak bakımından da çok önemlidir. Öğrenim, bilim ve teknik seviyeleri daha yüksek olan milletlerin memleketlerini daha kolay savundukları artık herkes tarafından bilinen bir gerçektir. Bu gerçeği anlamamazlık, yok olmayı kabul etmek olacaktır.

Bu alanda yetişecek elemanlara ön bilgiyi vermek üzere, aşağıdaki konular incelenmiş ve atom enerjisiyle diğer enerji kaynaklarının mukayeseli etüdü yapılmıştır.

Atom çekirdeğinden enerji elde edilmesinde fizikî ve teknik esaslar :

1. Makroskopik katı, sıvı ve gaz şeklindeki cisimlerden atom çekirdeğine giriş.
2. Çekirdeğin yapısı. Çekirdek kuvvetleri, İzotop ve izotoplann ayrılması.
3. Çekirdeğin değiştirilmesi. Tabii radyo -aküvite, yapma çekirdeklerin değiştirilmesi.
4. Çekirdeklerin erimesi (birleşme -Fuziyon) ve ayrışması (Fiziyon) olayları.

5. Zencirleme Reaksiyonu (sabit olan ve sabit olmıyan).
6. Reaktörler.
7. İstihsal Reaktörleri.
8. Diğer Reaktör tipleri.
9. Konverter ve Brüt Reaktörler.
10. Plânlanmış ve yapılmış Reaktörlerden bir kaç.
11. Atom kuvvet santrallerinin yapısı ve- gelecek teki imkânları.
12. Atom enerjisinin maliyet faktörleri.

1. Makroskopik katı, sıvı ve gaz (eklindeki cisimlerden atom çekirdeğine giriş:

Bin yıla yakın zamandanberi sorulan eski bir soru vardır: Eşyanın esası nedir?. Bu soruya şu şekilde de sorabiliriz: Günlük hayatımızda katı, sıvı ve gaz hâlinde gördüğümüz madde neden teşekkül etmiştir?

Kimya ilmi bu meseleye daha ziyade geçen yüzyılda cevap vermeğe çalışmıştır. Buna göre, bir çok sayısız maddeler tabiatta 90 kadar basit elementten meydana gelmiştir.

Şimdi bir maddeyi, meselâ bir küçük gümüş parçasını inceliyelim : Eskilerin de sordukları şöyle bir soru vardır. Bu gümüş parçasını ikiye ayırsak ve tekrar her parçayı da ikiye ayırsak ve tekrar bu ayırmalara sonuna kadar devam etsek, en sonunda bu işleme sonsuz olarak devam edebilir miyiz? Eskilerden Demokritos bu soruyu 'hayır' ile cevaplandırmış, parçalanmıyan en küçük parçığa ATOM adını vermiştir.

Demokrit ve ondan sonra gelenler atomu parçalanmaz saymışlardır.

Fakat; biz bugün biliyoruz ki, kimyevî atomlar daha bir çok parçacıklara ayrılabilirler. Bu itibarla, kimyevî elementlerin en küçük parçalarına, bu elementlerin atomu diyoruz. Bu suretle hidrojen, azot, demir, kobalt atomlarından bahsedebiliyoruz.

Bizim ilk sorumuz : (Makroskopik cisimler neden teşekkül etmiştir?) şeklinde idi. Bunun cevabı şu olmak lâzım gelir :

Bu cisimler, aşağı yukarı 90 kadar kimyevî ana madde veya elementlerden teşekkül etmiştir.

Atom hakkında bir fikir vermek için bazı adebi bilgilere ihtiyaç vardır. Bu değerleri verirken en iyisi 10'nun üstlerini kullanarak, aşağıdaki tabloyu yapabiliriz.

$10^0 = 1$	$10^0 = 1$
$10^1 = 10$	$10^{-1} = 1/10$
$10^2 = 100$	$10^{-2} = 1/100$
$10^3 = 1000$	$10^{-3} = 1/1000$
.	.
.	.

.	.
.	.
$10^6 = 1.000.000$	$10^{-6} = 1/1000.000$
.	.
.	.
$10^9 = 1 \text{ Milyar}$	$10^{-9} = 1/1000.000.000$
.	.
.	.
.	.
$10^{12} = 1000 \text{ Milyar}$	$10^{-12} = 1/1000.000.000.000$

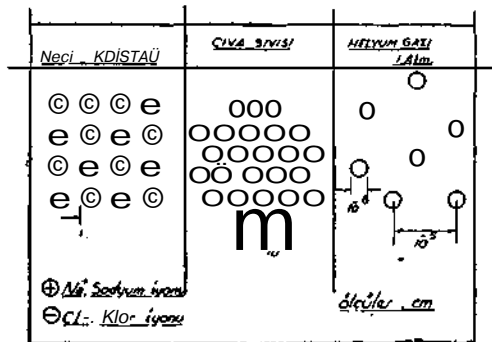
Bir atomun boşlukta kapladığı genişlik 10^{-8} cm. uzunlukla ifade edilir. Atomun kütlesi 4 ilâ 400×10^{-24} gram kadardır. Bu değerleri verdikten sonra, verilmesi gereken bir bilgi de çeşitli atom nevelerinin hangi düzene (kanuna) göre sıralandığıdır.

İlk defa atomları, artan kütlelerine göre sıralamışlar, bu suretle elementlerin periyodik sistemi (Mendeleef cetveli) meydana getirilmiştir. Bu sistemin burada küçük bir parçasını göstereyim. Meselâ bu sistemde, 1 numaralı atom hidrojen, 2 Helyum, 3 Lityum, Berilyum, 5 Bor, 6 Karbon, 7 Azot, 8 Oksijen, 9 Ffluer,.. 13 Alüminyum 26 Demir, 47 Gümüş... 90 Toryum, 91 Protaktinyum, 96 Küriyum, 97 Berkelyum, 98 Kaliforniyum, 99 Ayınştanyum (Einsteinium), 100 Fermiyum, 101 Mendelefyum, 102 Nobelyum,...

Artan kütlelere göre yapılan sıralamada bazı küçük uyumsuzluklar mevcuttur ki, bu husus sonradan bazı metodlarla düzeltilmiştir. Biz burada yalnız son beş element üzerinde duracağız. Bunlar da 90 Toryum, 91 Protaktinyum, 92 Uranyum, 93 Neptunyum, 94 Plütunyum,...

Bu elementlerin (90 ilâ 94 No ya kadar) önündeki sayılan şimdilik elementlerin kimyevî sisteminde bu atomların yer numarası olarak kabul edelim. Şunu ekliyelim ki, tabiatta yalnız Uranyuma kadar elementler bulunmaktadır. Buna karşılık 93 numaralı elementten 102 No ya kadar elementler yapma olarak insanlar tarafından elde edilmiştir.

Şekil (1) de kristalli bir katı, bir sıvı ve bir gaz cismin şematik yapısı görülmektedir.



(Şekil : 1)
Kristalli bir katı, bir sıvı ve bir gaz cismin şematik yapısı.

Şimdiye kadarki atom anlayışına göre, katı, sıvı ve gaz cisimlerin yapılarının açıklanması ile ne gibi faydalar sağlandığını ek olarak belirtelim (Şekil 1). Kristalli katı cisimlerdeki atomlar, düzenli bir şekilde birleşmişlerdir. Bu atomlarda (Boşluk kafesinden) bahsederiz. Boşluk kafesine örnek olmak üzere klorlu sodyum kristalinin şeması verilmiştir. Buradaki çeşitli atomlar Pozitif ve Negatif elektrik yüklü iyonlar halinde bulunmaktadır. Kafes içindeki atomların birbirinden uzaklıkları atom çapı kadardır.

Aynı vaziyeti sıvı cisimlerin atomlarında da görürüz. Şekil 1 de bir cıva damlasının yapısı gösterilmiştir. Bu hâlde atomlar birbirine bağlı değildirler. Sıvı içinde az veya çok aralıkla yerlerini değiştirirler.

Gazlar da ise, atomların birbirinden uzaklıkları, atom çaplarına oranla daha büyüktür (Şekil 1 de) ölçeksiz olarak atom hâlindeki gazların 1 at. basınçtaki durumu görülmektedir. Atom aralıklarını, atom çaplarının bin katı kadar olduğunu tasavvur edebiliriz.

Atom teorisi ile açıklanan diğer bir durum da (Isı'nın tabiatı) idi. Cisimlerin ısınma hali, atomların düzenli olmayan hareket halinde geçmeleri ile açıklanmaktadır.

Bu hâl, katı cisimlerde bir orta duruma göre dalga hareketleri, sıvılarda translasyonlu hareketler; gazlarda ise, atomlar serbest uçuşlarında birbirlerine veya kaplarının duvarlarına çarpma suretiyle meydana gelen düzensiz zikzak hareketler halinde olmaktadır. Isı, fizik teorisi üe ilgilidir. Oda ısısındaki bir gazda meydana gelen atom hareketlerinde rastlanan hızlar, 1 km/saniye kadardır. Bu hızlara (Termik hızlar) denir. Bu ifadeyi ilerde tekrar kullanacağız. Özet olarak :

Makroskopik cisimlerin 90 kadar kimyevî elementin atomlarından teşekkül ettiğini öğrenmiş bulunuyoruz.

Şimdi başka bir soruya geçebiliriz:

Atomlar neden teşekkül etmiştir? Bunun cevabı şudur.

Atomlar, bir çekirdekle bunu çevreleyen elektronlardan meydana gelmiştir. Başlangıçta atom modeli olarak yıldızlar sistemi ele alınmıştır. Güneş çekirdeği, yıldızlar da elektronları temsil ederler. Fakat bu tasarımı artık hakkiyle savunmamaktayız.

Biz, çekirdek etrafındaki elektron örtüsünü yüzey olarak değil, çekirdek etrafında boşlukta yerleştirilmiş yer olarak kabul etmeliyiz.

Kivant teorisi, atom teorisindeki gezegen sistemlerin mekanik modellerinden çok ayrı bir so-

nuca bizi götürmüştür. En hafif atom olan hidrojen, bir proton çekirdeğinden ve örtüsü içindeki bir elektrondan ibarettir.

Helyum atomu ise, örtüsü içinde iki elektrondan, lityum 3, Oksijen 8, Alüminyum 13, Demir 26, Uranyum ise 92 elektrondan teşekkül etmiştir. Şayet atom, elektrik bakımından nötr ise, örtüsü içindeki elektron sayısı o atomun, elementler kimyevî sistemindeki yer numarasını göstermektedir.

Biraz da atomun büyüklüğünü ve hacim oranlarını belirtelim • En hafif atom olan hidrojen atomunun çekirdeği, 10^{13} cm. çapındadır Elektronların da çapı bundan aşağı yukarı iki bin defa küçüktür.

Çekirdeğin elektronlardan uzaklığı ise, 10^{-8} cm. kadardır. Yani, hidrojen de çekirdek ile elektron aralığı, çekirdek çapının 100.000 katı kadardır. Görülüyorki atomu teşkil eden çekirdekle elektronlar arasında çok büyük bir boşluk vardır Atomun kapladığı hacmin ancak çok küçük bir kısmında, atomu teşkil eden parçalara rastlanmaktadır.

Hidrojen atomunun çekirdek kütlesi $1,67 \times 10^{-24}$ gramdır. Elektronun kütlesi ise, çekirdekten 2000 defa daha hafiftir Yani 10^{-27} gram kadardır. Bundan da anlaşılıyorki, pratik olarak, hidrojen atomunun bütün kütlesi çekirdekte toplanmış kabul edilebilir.

Bu ilişki, diğer atomlar içinde mevcuttur. Diğer bir sorumuz da şudur: Hidrojen atomunda çekirdek ve elektron ne için birbirine bağlıdır?

Bunları birlikte tutan kuvvet, elektrik özelliğindedir Çekirdek, pozitif elektrikle, elektron ise negatif elektrikle yüküldür. Zıt elektrik yükleri ise birbirlerini çekerler. Hidrojen atomu çekirdeğindeki elektririk yükü, şimdiye kadar izlenen en küçük elektrik yüküdür. Buna: (Elementler kıvant) veya (Elementler elektrik yükü) denir, adedi değeri $1,6 \times 10^{19}$ kulondur. Burada tekrar şu soruyu soralım:

Atomun yapısının çekirdek ve elektron örtüsünden teşekkül ettiği teorisini nasıl açıklayabiliriz. Bu konuda ilk defa, atomların ışık gönderme ve ışığı yutma özelliği, ikincisi de kimyada görüldüğü gibi, atomların birleşmesi veya ayrışması olayları ile kendini gösterir.

Işığın meydana gelişi ve bir madde tarafından yutulması (Absorpsiyonu), elektronların atom örtüsündeki birleşmeleriyle ilgilidir. Atomların moleküller hâlinde birleşmesi de yine elektron örtüsü münasebetlerine bağlıdır. Atomların elektron örtülerine ait ilişkileri teorik olarak, Heisenberg, Schrödinger, Dirac'ın kıvant mekaniği ile açıklanmıştır. Özet olarak diyebilirizki, Atom-

lar: Atom çekirdeği ile elektronlar örtüsünden meydana gelmiştir.

Diğer bir soruya geçelim: Atom çekirdeği neden meydana gelmiştir: Atom çekirdeklerinin en hafifi olan hidrojen çekirdeğinden başka diğer bütün atom çekirdekleri çeşitli parçalardan meydana gelmiştir. Bunlara çekirdek parçaları (Nukleonlar) denir. Bunlardan iki nevi çekirdek parçası önemli rol oynar; Protonlar ve Nötronlar; Proton, Hidrojen çekirdeğidir. Bu hâlde diyebiliriz ki, bütün atom çekirdekleri, hidrojen çekirdeklerinden ve Nötronlardan meydana gelmiştir. Şimdi de atom çekirdeklerinin kütle ve büyüklükleri üzerinde duralım: Atom çekirdeklerinin çapları 10^{12} ilâ 10^{13} santimetre kadardır. Atom çekirdeğinin kütlesi 10^{23} gram olup, genişliği 10^{-13} cm, elektrik yükü de $1,6 \times 10^{-19}$ kulon kadardır. Nötronun büyüklüğü ve kütlesi de aşağı yukarı protonun değerlerine uymaktadır. Elektrik yükü bakımından ise nötr'dür. Yani elektrik yükü yoktur.

Özet olarak: Çekirdekleri, protonların ve Nötronların meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu suretle, bu konunun birinci kısmını teşkil eden esasları belirtmiş oluyoruz. Bu kısımda, katı, sıvı ve gaz cisimlerde rastladığımız makroskopik maddeden, atom çekirdeğine kadar giden yolu göstermiş olduk.

2. Çekirdeklerin yapısı, Çekirdeklerin kuvvetleri, izotoplar ve izotopların parçalanması.

Sorumuza devam edelim: Nukleon'lardan meydana gelmiş atom çekirdeğinin yapısı nasıldır? Çekirdeğin içinde Nukleon'lar nasıl yerleştirilmiştir? Ne kadar sıkı bağlanmışlardır? Nasıl hareket ederler? ...

Bütün bunlar bizi (Çekirdek modelinin) nasıl olduğu sorusuna götürür.

Bohr ve Wheeler ameliyesine göre, çekirdekler sıvı damlacıklarıyla karşılaştırılabilir. Şayet çekirdek birleşmesi ve çekirdek ayrışması olayları göz önüne alınırsa, bu model belli bir anlamda (sahada) kullanılabilir. Bizde de üzerinde durduğumuz husus bu modele konu olan olaylardır.

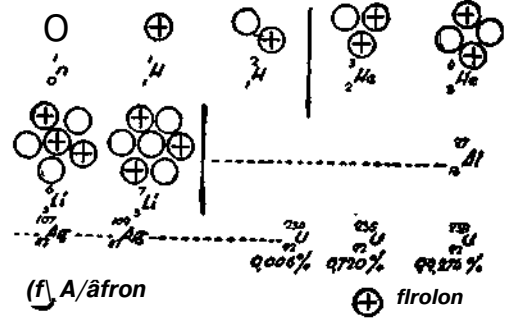
Kıvant teorisine göre, bu modele de tam manasiyle güvenilmemelidir. Atom çekirdeklerinde daha başka olaylar meydana geldiğinden bir sıvı damlası modeli bu maksat için kullanılamaz.

Esas itibarıyla hiç bir zaman bir atom çekirdeğini eşit olmayan bir madde parçasıyla karşılaştırırlayız. Bu sununla ilgilidir:

Bir cıva damlasında bulunan cıva atomlarında ki hareket hali gibi, bir çekirdeğin kapladığı çok küçük bir hacim içinde bulunan bir Nukleon'dan, hissedilebilir bir hareket beklenemediğinden, daha ziyade, çekirdek hacmi içinde her bir nukleo-

nun belli bir anlamda, daima harekete hazır durumda olduğunu kabul etmekteyiz. Fakat, burada maksadımızı anlatmak için damla modeli yeter görülmektedir.

Önce tamamen şematik olarak verilen proton ve nötronlardan teşekkül eden çekirdeklerin yapısını gözden geçirelim: Bu arada, atomların işaretleri olarak sembollerini de verelim: (Şekil. 2, bazı çekirdeklerin şematik yapısı görülmektedir.)



(Şekil. 2) Bazı çekirdeklerin yapısına ait şematik resim.

Birinci resim nötronu göstermektedir. Bunun elektrik yükü sıfırdır, (şekilde sol alttaki endeks.) İkinci resim protonun sembolünü göstermekte olup, sembolün solunda üstteki aded kütleyi (birim kütle olarak), alttaki aded elektrik yükünü yani elektron veya proton sayısı gösterir. Şekilde, nötronun başyarak ${}^1_0\text{H}$ ile proton veya adi hidrojen çekirdeğini, ${}^1_1\text{H}$ ağır hidrojeni veya nötron çekirdeği görülmektedir. Bu elementlerden sonra, maddelerin kimyevî sistemleri içindeki ikinci gruptan olan hafif Helyum ${}^2_2\text{He}$ ve ağır Helyum ${}^4_2\text{He}$ gelmektedir. Bu iki helyum cinsine Helyum izotopi denir. Zira, Elemanlar sistemi içerisinde bu iki Helyum cinsi aynı yeri işgal etmektedir. Kimyevî olarak bu iki cins Helyumun özellikleri birbirinin aynıdır. Çünkü, bunların elektronlar örtüsündeki elektronları ikiyeşerdir. Birinci kısımda da belirttiğimiz gibi, maddelerin kimyevî özelliği, elektron örtülerinden en dış örtüdeki elektronlara bağlı bulunmaktadır. Fakat bu iki nevi Helyum fizikî nitelik bakımından önemli derecede birbirinden ayrılmaktadır. Çünkü ${}^4_2\text{He}$ 'nin kütlesi ${}^2_2\text{He}$ 'nin kütlesinden yüzde 25 daha fazladır.

Bunların Lityum izotopları olan ${}^6_3\text{Li}$ ve ${}^7_3\text{Li}$ maddeleri takip etmektedir. Görülüyor ki, izotoplarda protonların sayısı aynı olmakla beraber, nötronların sayısı birbirinin aynı değildir. Bunlardan başka (Şekil 2 de) çekirdekler cetvelinde küçük bir parça olarak gümüş izotopları için: ${}^{106}_{47}\text{Ag}$

*Z Ag, maddeleri vardır. Bunlarda protonların sayısı 47, Nukleonlar ise 106 ve 107 dir Diğer bir deyişle, 106 ve 107 nukleon sayıları içinde 59 ve 60 adet nötron ve gen kalan kısımlar kadar (Yani 47 adet) proton bulunur.

Tabii kimyevi elementler sistemi Uranyumda son bulmaktadır. Dünyada Uranyumun üç izotopu bulunmaktadır. $^{234}_{92}\text{U}$, $^{235}_{92}\text{U}$, $^{238}_{92}\text{U}$ bu izotopların tabii karışımı % 99,2 kadar U, % 0,718 kadari U 235 atomunu ve geri kalan kısım da (eser miktarında) U 234, den ibarettir

Kimyevi metodlarla, tabiatla yuvarlak olarak 90 çeşitli atom cinsi ayrılmakta isede, fizik ilmi bakımından izotopı dolayısıyla 300 muhtelif atom cinsi bulunmaktadır. Şimdi burada izotopların ayrılması konusuna biraz dokunalım. Mesele, çekirdeğinde aynı proton fakat çeşitli nötron adedini taşıyan atomların birbirinden ne şekilde ayrılacağıdır Bu arada izotopların kütle farklarından tabiatıyla faydalanacaktır.

Aynı atomun izotoplarını birbirinden ayırmak için kullanılan difüzyon metodu ile santrifüj ve elektromanyetik usullere kısaca temas etmek bizim için yeterlidir. İzotoplar gaz şeklinde (mesela, Uranyum maddesi için Uranyum hekza florit UF_6) hazırlandıktan sonra, bu gaz halindeki maddeyi delikli cidarlardan tazyikle geçirmek suretiyle hafif olan izotoplar ağır olan izotoplara göre delikli cidardan daha hızlı geçerler. Delikli cidarın arkasında öyle bir izotop karışımı elde edilirki, bu karışımda hafif izotop miktarı normal izotop karışımına göre daha zengin sayıda bulunur. Bu deneme sık sık tekrarlandığı takdirde, hafif izotoplu maddenin karışım oranı daha fazla olan çok zenginleşmiş karışım elde edilir. Bu usule, difüzyon metodu denir.

Diğer bir usul de santrifüj metod olup, ağır olan izotoplar kütlelerinin ağır olmaları dolayısıyla radyal olarak dışarıya doğru hafif olanlardan daha fazla itilirler. Bu suretle de izotopların tabii karışım nisbetine tesir edilir.

Atom çekirdeklerinin proton nötronlardan ibaret olduğunu açıklamış ve bütün bu çekirdeklerin etrafındaki elektronların da atomu bir bütün olarak kılıf (külâh) halinde içine aldığını yukarıda belirtmiştik. Proton, Nötron, ve elektronlar maddenin elementer parçalarını (partiküllerini) teşkil etmektedir.

Tabiatla bir çok daha başka elementer parçalar mevcuttur. Mesela, bir sayı ve şekilde bulunan (mezon'lar) gibi.

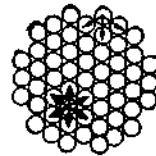
Son olarak sorumuzu şu şekilde bağlayabiliriz Elementer parçalar nelerden meydana gelmiştir?

İşte araştırma alanı bu konuda toplanmış olup, bugünkü fizik bilhassa bu soru ile ilgilenmektedir. İlk bakışta elementer parçaların daha küçük parçalardan ibaret olabileceği tahmin edilebilir. Yani yukarıda kullanarak fayda sağladığımız bu reçeteyi bir defa daha tekrarlamak suretiyle kullanmayı düşünebiliriz. Ancak, bunun bir başarıyla sonuçlanacağını şimdilik ümit etmek doğru değildir Bu elementer parçalar daha ziyade belli bir alanın enerji durumunu göstermektedir.

Einstein (Aynşayın) teorisinden sonra bilindiğine göre, her kütle belli bir E enerjisine karşılık olup, bu da $E = m \cdot c^2$ denkleminde bağlıdır. Burada, c havasız yerde ışığın hızıdır Bu suretle fizikî kuvvet ve cisim ile madde ve enerji arasındaki temel farklar manasız bir hale gelmiş bulunmaktadır Bu açıklamadan sonra, çekirdeğine tekrar dönerek bilhassa atom çekirdeğindeki nukleon'ları tutan etkili kuvvetlere sorumuzu yönetelim. Bu husus, konumuz için çok önemli bir sorudur. Zira, çekirdekteki enerji, nukleon'ları birbirine bağlayan kuvvete bağlı bulunduğu gibi, elde etmek istediğimiz enerji de bu nukleon'ları birbirine bağlayan bağlantı enerjisidir.

Biran için bir damlayı karşılaştırdığımızı düşünelim. Meselâ, bir civa damlasını göz önünde bulundurursak, bu civa damlasındaki atomlar neden birbirini tutmaktadır? (Çekirdekteki nukleon'ların civa damlasındaki atomlara karşılık olduğu kabul edilmiştir).

Civa damlasındaki atomların birbirini tutmasını, komşu atomlar arasındaki kohezyon kuvvetleriyle açıklayabiliriz. Kohezyon kuvvetlerinden şu netice doğmaktadırki, civa damlası bir deri (kabuk) ile çevrilmiş ve bu deride (kabukta) belli bir yüzey gerilmelerine rastgelmekte olup bu gerilmelerde bir yüzey enerjisine karşılıktır. Bu husus yalnız başına şu şekilde açıklanabilir: (Şekil. 3 de) taranmış olarak gösterilen atomu inceliyelim.



Yüzey gerilmeleri		
	erg/cm ²	*Wh/cm ²
/İmli s/kol	•26	Z03-/0'''
Su	n.s.	t ol /tr''
Civa	Soo	A3f' /0'''
G*Jn/r&£ sevsj/0''		•2,7a 0'

(Şekil • 3)

Yüzey gerilmelerinin belirtilmesi hakkında şematik resim

Bu atom, komşu atomlardan bütün yönlerde çekilecektir. Her tönedeki çekme kuvveti aynı miktardadır. Bu kuvvetlerin bileşkesi sıfır olacaktır. İkinci olarak en dıştaki yüzeylerde bulunan bir atomu ele alalım. Bu atom damlanın içine ve yanlarına doğru çekilecek, fakat daha başka atom olmadığından dışarıya doğru çekilmeyecektir. Kuvvetlerin toplamı, cidarı gerilmiş hava balonunda olduğu gibi, damlanın içine doğru tesir eden bir bileşke kuvvet vermektedir. Daha önce de belirt-

tiğimiz gibi, yüzey gerilimi, yüzeyde bir enerjiyi karşılık olmaktadır. Bu enerjiyi kWh/cm.² (santimetre başına kilovat saat olarak) ifade edebiliriz. Bu enerji cıva damlasında 500 erg/cm.², çekirdek suyunda 10²⁰ erg/cm.² kadardır. Bu yüzeysel enerji yoğunluğu (t) ile gösterilir Amil alkol için t = 7,23 X 10⁻¹³ kWh/cm.², su için aşağı yukarı bunun üç katı cıva için 20 kattır

Çekirdek suyu üzerinde biraz duralım. Bu takdirde, t için takriben üç milyon kWh/cm.² lik bir değer elde edilmektedir. Tıpkı bir cıva damlasındaki atomlar arasında aldığımız kohezyon kuvvetleri gibi bir çekirdeğin nükleon'ları arasında da çekirdek kohezyon kuvvetlen olduğunu düşünelim. Yani iki protonla iki nötron ve bir protonla bir nötron arasındaki çekme kuvvetlerinin etkili olduğunu sayalım Hemen eklemek faydalıdır ki, bu kuvvetlerin tesir alanı küçük olup, ancak bu elementer parçalar birbirine yakın oldukları takdirde bu tesir söz konusu olabilir.

Cıva damlasındaki modele göre, atom çekirdeğinin damlasında bazı komplikasyonlar vardır. Zira, Nükleon'lar arasındaki çekici kohezyon kuvvetlerinden başka, birbirini iten kuvvetler de bulunmaktadır. Bu itici kuvvetler elektro—statik kuvvetler olup, çekirdekdeki protonların hepsi pozitif elementer yükler taşıdığından, aynı yükü taşıyan elementler birbirini uzaklaştırmaktadır. Bu itibarla, çekirdekte birbirine karşı tesir eden iki kuvvet mevcuttur. Bunlardan biri konservatif kuvvetler olup, çekirdeği tutmak isterler. Bu kuvvetlere çekirdek kohezyon kuvvetleri denir.

Diğer kuvvetler de çekirdeği dağıtmak isteyen kuvvet olup, bunlar protonlar arasındaki elektrikli itme kuvvetlerini meydana getirirler.

Bu elektrik! kuvvetlerin tesir alanını bilmek de önemlidir. Elektrikli kuvvetlerin geniş bir tesir sahası vardır. Bu kuvvetler çekirdek hacminin de dışına çıkarak tesirlerini gösterirler. Buna mukabil kohezyon kuvvetleri bunun tamamile tersine olarak, nükleon'lar birbirine değdiği takdirde bu kuvvet etkili olmaktadır. Aşağıdaki tabloda bu durum şematik olarak gösterilmiştir.

Kuvvetin şekli	Eğilim (Tandans)	Tesir alanı
Nükleon'lar arasındaki Kohezyon	Birbirlerini tutmaya çalışmakta	10 ⁻¹³ cm. den küçük
Protonlar arasındaki elektrikli itme	Birbirlerini uzaklaştırmakta	10 ⁻¹³ cm. den büyük

Aşağıdaki konularda, çekirdekler hakkında kullanacağımız bilgileri tekrar kısaca özetliyalim: Atom çekirdeğini maksadımız için, çekirdek suyundan ibaret bir damla olarak tasavvur edemeyiz. Çekirdek suyu iki tip nükleon'dan ibaret

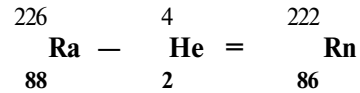
olup, bunlarda pozitif elektrik yüklü protonlarla, elektrik yüksüz nötronlardan teşekkül etmektedir. Bütün nükleonlar birbirini karşılıklı olarak çeker. (Çekirdek kohezyon kuvvetleri). Bütün protonlar birbirini karşılıklı olarak iter. (Aynı cinsten olan elektrik yükleri birbirini iter.)

Kohezyon yüklerinin tesir sahası 10^{as} Cm. küçüktür. Elektrik itme kuvvetlerinin tesir sahası büyüktür. Çekirdek suyunda, yüzey enerjisi (t) olup, aşağı yukarı 3 milyon kWh/cm.² dir.

Bu bilgiler verildikten sonra, aşağıda görüleceği üzere, atom çekirdeğinden elektrik enerjisi elde etmenin mahiyetini hiç olmazsa ana hatlarıyla anlamakta sıkıntı çekilmeyecektir

3. Çekirdeğin değiştirilmesi. Tabii radyoaktivite, Yapma çekirdeklerin değiştirilmesi.

Atom çekirdeğinden teknik ölçüde enerji elde edilme işlemine geçmeden önce, atom çekirdeklerinin değiştirilmesi üzerinde kısaca durmak yerinde olacaktır. Eskidenberi bilindiği üzere, tabiiatta bulunan bütün atom çekirdekleri stabil (sabit) değildir. Bunların bir kısmı tabii olarak parçalanmaktadır. Kendi kendine parçalanan maddelerin radyoaktif olduğu bilinmektedir. Bu husus, Kimyasal sistemde elementleri 206'den büyük kütle sayılı çekirdekler için, yani kurşundan yüksek kütleli bütün elementlerin çekirdekleri için doğrudur. Bu elementler, çeşitli maddelere dönüşmektedir. Bazıları, Helyum çekirdekleri (bunlara alfa partikülleri de denir), bazıları elektronlar (Bunlara beta ışınları da denir), bazıları da son derece nüfuz tesiri olan bir nevi röntgen ışınları (bunlara gamma kıvancı da denir) yayınlırlar. Biz burada bir tek çekirdek değişikliğini, yani radyumun değişmesini inceleyeceğiz. Bu olay aşağıdaki formüle göre meydana gelir:



Yani, bir radyum çekirdeğinden bir helyum çekirdeği itilerek, bu suretle proton ve nötron sayılan ikişer adet azalmaktadır. Radyumun çekirdeği 86 protonlu veya cem'an 222 nükleon'lu bir

çekirdeğe dönüşmektedir. Bu yeni atom, kimyada çok iyi bilinen asil bir gaz olan radyum emanasyonu veya Randon'dan ibarettir.

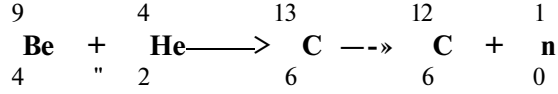
Radyoaktif parçalanmada yanlanma süresi önemli bir değerdir. Meselâ, 1 g. radyum mevcut ise,

bunun yarısı takriben 1600 senede parçalanmaktadır. Buna göre radyumun radyoaktif parçalanmasının yarılanma süresi 1600 sene olarak ifade edilir.

Radyumun parçalanması, cisimlerden yayınlanan aktivitenin tesbitine yarıyan birimin tayininde kullanılır. Meselâ, (1 curie) lik aktivite, saniyede aynı miktarda parçalanmaya, yani 1 g. radyumda olduğu gibi, $(3,7 \times 10^{10}/\text{sec})$ adet radyum atomu parçalanmasına karşılıktır.

Bu parçalanma işleminden başka bir çok yapmı çekirdek değişiklikleri vardır. Her hangi bir çekirdeğe Nötronlar, Protonlar, Dötronlar, Helyum çekirdekleri, Elektronlar, Gamma kıvıntları v.s. gibi partikülleri göndermek suretiyle çeşitli madde değişiklikleri elde edilebilir.

Biz burada belli bir nötron kaynağındaki olayları kısaca açıklamakla yetinmek istiyoruz. Aşağı yukarı bir santimetre çapında cam küre içine radyum tuzu (meselâ, radyum sülfat) ile karışık Berilyum putrası birlikte verilirse, bir nötron demeti (flux) için kaynak elde edilmiş olunur. Bu takdirde, aşağıdaki formüle göre işlem cereyan eder.



Yani, radyum çekirdeğinden daha önce de gördüğümüz üzere Helyum çekirdekleri dışarıya atılır. Bunlar da Berilyum çekirdeklerine nüfuz ederek sabit olmıyan ${}^{13}_6\text{C}$ cismini meydana getirir.

Bu cismin 6 proton ve 7 nötronu mevcuttur. Bu son cisim de çok kısa bir zamanda dezintegrasiyona uğrıyarak sabit karbon atomu ile nötron meydana getirir. Helyum çekirdekleri, radyum çekirdeklerinden saniyede 15.000 km. hızla çıkmakta ve yukardaki formüle göre meydana gelen nötronlar, cam küre cidarlarından dışarıya fırlamaktadırlar. Cam küre nötronlar için bir engel teşkil etmemektedir. Nötronlar da cam küreden saniyede 30.000 km. kadar bir hızla dışarı çıkarlar.

Nötronlar, katı cisimler içinde büyük mesafeleri engelsiz şekilde geçtikleri gibi, cismin çekirdeğine rastlamadan da yol alabilirler. Bunların serbest gidiş mesafesi, merteye bakımından bir kaç santimetre olup, kolayca 10 santimetreye kadar erişebilirler.

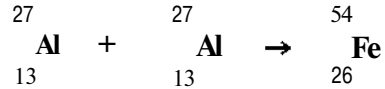
Bizim nötron kaynağımız etrafındaki cam küre, nötronların çıkışına bu bakımdan bir engel teşkil etmemektedir. Ayrıca bu serbest gidiş mesafesiyle atom bombalarının ve atom reaktörlerinin ölçülendirilmesi birbirine sıkı sıkıya bağlı olup, bu hususda aşağıda ayrıca açıklanacaktır.

4. Çekirdeğin erimesi (Birleşmesi — Fuziyon) ve ayrışması Fisiyon) :

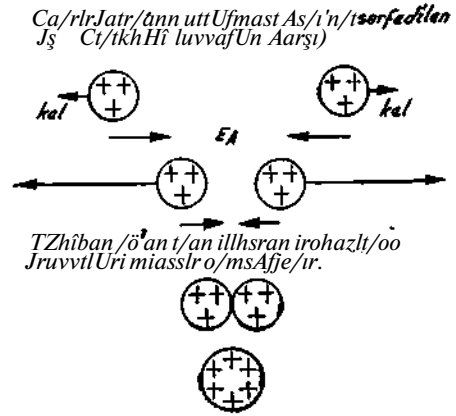
1939 Yılında Almanya'da Strassmann ve Hahn tarafından son derece önemli ve yeni bir çekirdek

değiştirme işlemi bulunmuştur. Bu işlem, atom çekirdeklerini kaba şekilde eşit ağırlıkta iki parçaya ayırmaktan ibarettir. Bu suretle- Fisiyonun tersi bir işlem yapılarak : Fuziyon (erime) suretiyle hafif çekirdekler ağır çekirdekler şeklinde birleştirilmektedir.

Fisiyon sonunda, ağır çekirdeklerden enerji dışarıya alınabildiği gibi, ters olarak hafif çekirdekleri eritmek (birleştirmek) suretiyle de enerji elde edildiği anlaşılmıştır. Bu işlemlerin ne şekilde yapıldığı aşağıda gösterilmiştir. İlk önce hafif çekirdeklerin birbiri içinde erime işleminden başlayalım. Bir misal olmak üzere (sadece teorik olarak) iki alüminyum çekirdeğinin bir demir çekirdeği şeklinde erime şemasını inceliydim :



Bu olayı (Şekil. 4.) de ayrıca inceliyelim. Her iki alüminyumun çekirdeği eritilmeden önce, bunlar uzak mesafelerden birbirine değecek yakın bir mesafeye kadar getirilmelidir. Bu atomlar birbirine yaklaşırken protonların elektrik çekme kuvvetleri kendini hissettirir.



(Şekil : 4)

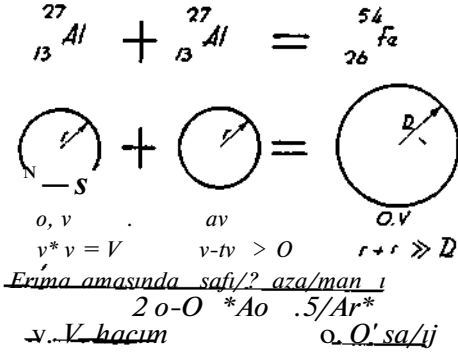
Çekirdeklerin arimasini (Fuziyon) ve arada meydana gelen kuvvetlen şematik olarak gösteren resim

Daha önce de gördüğümüz gibi bu kuvvetlerin büyük bir etki alanı vardır. Bu elektrik itme kuvvetlerine karşı bizim iş yapmamız lâzımdır. Bu işe aktivite enerjisi denir. Bu miktarı E_A ile gösterebiliriz. İki alüminyum çekirdeğinin erimesi hâlinde bu E_A aktivite enerjisi, 13 protonlu bu çekirdekleri geliş güzel uzaktaki bir mesafeden birbirine değinceye kadar yaklaştırmak için harcanan elektrik enerjisine eşittir.

Bu çekirdekler birbirine bu kadar yaklaştırdıktan sonra kohezyon kuvvetleri etkilemeye başlar. Bu kohezyon kuvvetleri her iki alüminyum çekirdeğini enerjik olarak eriterek ${}^{54}_{26}\text{Fe}$ çekirdeği meydana getirir. Alüminyum çekirdeği hafif oldu-

ğu için, bu çekirdeğin sonunda bir enerjinin serbest kalması gerekmektedir. Daha önceki mütalalarımıza dayanarak, bunun ne şekilde meydana geldiğini açıklayabiliriz .

Her iki alüminyum çekirdeğinin dış yüzeyi erime sonunda meydana gelen demirin çekirdek yüzeyinden büyük bulunmaktadır. (Şekil. 5.) deki şemadan bu husus kolayca anlaşılabilir. Alüminyum



(Şekil . 5)
iki çekirdeğin erimesi halinde yüzey (sath) azalması.

çekirdeklerinin yarı çapları r, demir çekirdeklerinin yarı çapları R ile gösterilsin. Alüminyum çekirdeğinin yüzeyi (o), demir çekirdeğinin yüzeyi (O), Alüminyum çekirdeğinin hacmi v, demir çekirdeğinin hacmi de V olsun.

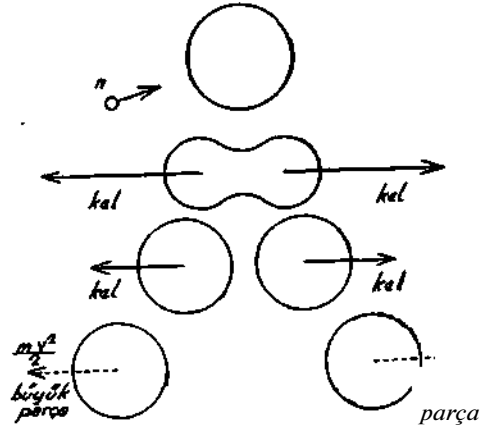
Küçük ve büyük çekirdeklerdeki çekirdek suyunun yoğunluğu pratik olarak aynı olduğundan, erimiş çekirdeğin hacmi, küçük çekirdeklerin hacminin toplamına eşittir, $v + v = 2v = V$, Buradan, derhal şu sonuç çıkar ki, erimiş çekirdeğin yüzeyi, eriyen küçük çekirdeklerin yüzeyinden daha küçüktür. Yani, $O < 2o$ bunun tabii sonucu da, erimiş çekirdeğin yarı çapı (R) de, iki küçük çekirdek yan çapı toplamından küçük olur. $R < 2r$. Zira, yüzey r^2 , hacim r^3 ile büyümektedir. Bütün bunlardan şu sonuca varılırki, her iki alüminyum çekirdeğinin bir demir çekirdeği şeklinde erimesi halinde, yüzeyden bir miktar azalmaktadır. Bu yüzey azalışının değeri (AO) olarak gösterilirse; ($A O = 6,14.r^2$) bulunur.

Önce de belirttiğimiz gibi, her santimetre çekirdek suyunda aşağı yukarı $t =$ üç milyon kilovat saatlik bir enerji gizlenmektedir. A O yüzey parçasında gizli kalan enerji, erime sonucunda kayıp olan enerji olup, çekirdeğin eritilmesi sonunda serbest hâle gelerek emrimize hazır kalmaktadır. Biz bu enerjiyi, A O yüzey azalmasını yüzey enerjisi yoğunluğu ile çarpma suretiyle hesaplayabiliriz Bu suretle alüminyum çekirdeğini bir demir çekirdeğine eritmekle E_g gibi brüt bir enerji kazanılmakta ve bunun büyüklüğüde .

$$E_B = E_c = \Delta O \times t = 5,14 r^2 . t$$

Bu miktar E_N j gibi net enerji kazancı değildir. Daha önce de temas ettiğimiz gibi, çekirdekleri birbirine yaklaştırmak için harcanan E_A aktive enerjisini, brüt enerjiden çıkartmamız lâzımdır. Yani, $E_N = E_o - E_A$ bulunur.

Yukarıda da bahsettiğimiz gibi, bu net enerji kazancı hafif çekirdeklerde pozitif çıkmaktadır. Çünkü bu durumda $E_o > E_A$ dir. Ağır çekirdeklerde ise, bu durumun tamamen tersi meydana gelmekte yani iki ağır çekirdeği birbirine yaklaştırmak için harcanan elektrik işi, yüzey küçülmesinden elde edilen enerjiden büyük bulunmaktadır. O halde, ağır çekirdeklerin eritilmesinden bir enerji elde edilmediği gibi, aksine olarak, enerji kayıp edilmektedir. Eğer ağır çekirdeklerde erime ameliyesinin tamamen tersi olan, Fisiyon yani çekirdekleri parçalama ameliyesi yapılırsa, o zaman enerji elde edilir. Bu ayırma ameliyesini de (şekil. 6.) yardımıla kısaca inceleyelim.

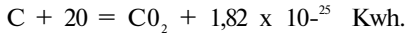


(Şekil . 6)
Ağır çekirdeklerin parçalanma (fisiydh) olayını gösteren resim

Uranium 235 çekirdeğini ele alalım. Bu çekirdek bir nötron yakaladığı zaman iki parçaya bölünür. Nötronu yakalamakla bu çekirdek belli bir enerji kazanır. Bu enerji sayesinde, uranyum 235 çekirdeği titreşime başlar. (Şekil. 6) da görüldüğü gibi, birbirine takriben eşit ağırlıkta iki parçaya ayrılır. Bu parçaların protonları pozitif elektrik yüklü olduğundan, birbirini artan hızla iterler. Bu iki çift parça birbirine yakın iken mevcut olan elektostatik enerji, bu parçalar birbirinden uzaklaşırken bir mekanik (kinetik) enerjiye dönüşür. Bu parçalar daha sonra başka çekirdeklere de çarparak, sonuç olarak bu enerji diğer parçalara da geçer ve düzensiz bir enerjiye yani ısı şekline çevrilir. Bu suretle çekirdek reaktörlerindeki atom enerjisi teknik olarak daima bir ısı şeklinde emre hazır bulunmaktadır. Tek başına ayrılma ameliyelerinde, yukarıdaki açıklamadan kolayca anlaşılacağı şekilde, elde edilecek enerji kazancı:

E_e enerjisi bir atomdan meydana gelen iki atomun yüzeyleri toplamına ait enerjiyi göstermektedir. Bu enerji, bir atom yüzeyine ait enerjiden büyüktür. Parçalanma sırasında meydana gelen yüzey artışı, $A \cdot 0$. t kadar bir enerji kayıp edilmesine sebep olmaktadır. Bu enerji burada aktivite enerjisini ifade eder. Tek başına ayrılma olaylarında son derece küçük olan bu enerji miktarı serbest kalır. Bu miktar aşağı yukarı 5.10^{-18} kWh kadardır. Elde edilen bu enerji iki oksijen atomu ile yanan bir karbon atomundan elde edilen enerji ile karşılaştırılabilir:

Bu kimyevî reaksiyona göre aşağıdaki formülle karbon asidi meydana gelir.



Bu kimyevî elementer işlemle yanma sonucunda elde edilen enerji $1,82 \times 10^{-25}$ kWh dir. Fiziki çekirdek işlemle kimyevî işleme göre kabaca 30 milyon misli enerji elde edildiği kolayca görülür.

Şimdiye kadar anlatılan esaslara göre meselâ, 1 gram uranyum 235 den bir günde elde edilebilecek enerji miktarı hesaplanabilmektedir. Buna göre, elde edilen enerji günde bir mega vattır. Yani bir kilogram uranyumun verdiği takat, modern kuvvet santrallerinin en büyüğünün takatini karşılayacaktır. Bu kısmı bitirmeden önce, parçalanma olayının (Fisyon) meydana gelişine ait bir hususu da ekliyorum:

Bu parçalanmada U 235 atomlarıyla U 238 atomları arasında önemli ayrılık vardır. Termik nötronların U 235'i yeter derecede parçaladığı anlaşılmıştır. Yani bu nötronların hızı saniyede bir kilometrelik değer taşırlar.

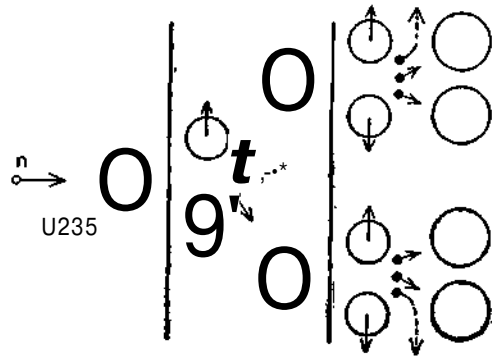
Bu nötronlar ağır uranyum izotopu U 238'i parçalayamamaktadırlar. Bu hâlde hızı 10.000 km/Saniye değerinde hızlı nötron denilen nötronlara ihtiyaç vardır. Çekirdekleri termik veya yavaş nötronlarla parçalanabilen maddelere kısaltılmış olarak (parçalanabilir maddeler) denir. Bu gibi maddeler U233, U235, U239 dur. İleride yavaş ve hızlı reaktörleri tanıyacağız. Bu reaktörlerin etki usulünü ve adlandırılmasını anlamak için (parçalanabilen maddeler) üzerine söylenenlerle beraber, yavaş ve hızlı nötronların rollerini aklımızda tutmamız lazımdır.

5. Zincirleme reaksiyonları (Sabit ve hareketli tesisler) :

Yukarıda U235 uranyum çekirdeğinin parçalanmasından 5×10^{-10} kWh bk bir enerji temin edildiğini gördük. Bu enerji miktarı tabiiyle pek çok küçüktür. Yani tek başına bir çekirdek parçalanması işleminde büyük bir enerji vermez. Şayet, kimyevî yanma suretiyle teknikte kullanılabilir

ölçülerde enerji kazanmak istendiği takdirde, bir noktadan yanma reaksiyonunu -harekete geçirmek lazımdır. Atom çekirdeklerinden enerji elde etmek için de bu yanma olayına kıyasla bir zincirleme reaksiyonu meydana getirilmesi gerekir.

Böyle bir zincirleme reaksiyonu, meselâ U 235 atom çekirdeğinin parçalanmasında meydana gelen iki talfi parçacıktan başka, tekbaşına nötronların da reaksiyon mahallinden uçmasıyla ve bu nötronların başka U 235 çekirdeklerine çarpması sonunda yeni nötronlar (takriben 3 adet) ve yeni parçalanmalar meydana gelerek, bu parçalanma olayı bütün U 235 atomlarına geçerek, zincirleme reaksiyonu meydana gelmektedir. Bu arada U 235 atomunu parçalayan ilk nötron, yanma olayını meydana getiren ilk kıvılcımla karşılaştırılabilir. (Şekil. 7.) deki şemada, böyle bir zincirleme reaksiyonunun meydana gelişini gösterilmektedir. (Şe-

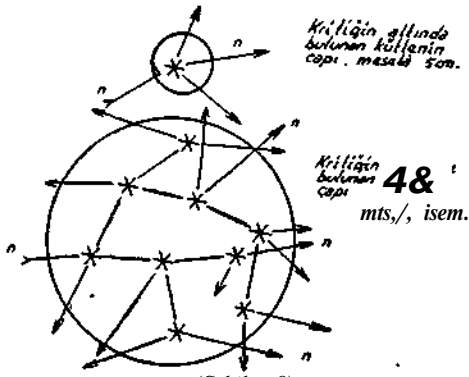


(Şekil : 7)
Çekirdeklerde zincirleme reaksiyonunun muhtelif safhaları

kıl 7) de gösterilen zincirleme reaksiyonunun birinci safhasında, bir nötron bir uranyum 235 çekirdeğine dalarak, bu çekirdeği parçalanmaya yöneltmektedir. Bu parçalanmadan meydana gelen orta ağırlıktaki yeni parçalar, üç nötron mermisini de serbest bırakmaktadır. Bu yeni nötronlardan biri maddenin yüzeyinden veya diğer bir şekilde, kayıp olur gider. Diğer geri kalan ikisi, kendi serbest yollarında hareket ederek diğer iki U 235 çekirdeğine girerler ve bunları da ikiye parçalayarak yeni serbest nötronlar meydana getirirler.

Bunları takip eden safhada hedefe doğru ilerleyen 6 başlangıç nötronu emre hazır bulunur. Bunlardan 1/3 nin kayıp olduğunu kabul edersek, geri kalan 2/3 kısım nötron serbest gidiş yolunu takip ederek diğer U 235 çekirdeklerine çarparak onları da ikiye parçalarlar. Bu safhada tekrar dört çekirdek parçalanmış olur. Bu suretle parçalanmış çekirdeklerin sayısı çığ gibi artmaya başlar. İşte bu olaya zincirleme reaksiyonu diyoruz

Burada kritik miktar kavramı üzerinde biraz duralım:



(Şekil : 8)

Kritik kütle altında (aşağı kritik) ve kritik kütle üstünde bulunan parçalanabilir Maddelerin nötron bombardümanına ait şema

Önce parçalanabilen en küçük bir madde miktarını ele alalım. (Bu miktar kritik miktarın aşağısında bulunsun). Bu aşağı kritik miktar içindeki bir çekirdeğin bir nötronun çarpılmasıyla parçalanabilir. Bir nötronun, uranyum içinde ortalama olarak serbestçe alacağı mesafe aşağı yukarı 8,5 cm. kadardır. Burada, örnek olarak aldığımız bir uranyum küresinin çapı da 5 cm. olsun. Bu hâlde parçalanmış üç nötronun birinin bu uranyum miktarı içinde diğer bir çekirdeğe çarpması ihtimali çok azdır. Bu nötronlar çekirdeğe çarpmaktan ziyade, her hangi bir reaksiyon meydana getirmeksizin, uranyum küresi yüzeyinden dışarı çıkarlar.

İkinci bir hâl olarak, eskisinden daha büyük çapta, meselâ 25 cm. çapında Uranyum 235 den yapılmış bir küre ele alalım. Bu küre içinde her hangi bir yerdeki Uranyum çekirdeği içine bir nötronun girmesiyle bu çekirdek parçalanmış olsun. Bu kürenin hacim büyüklüğü dolayısıyla meydana gelen yeni nötronlardan biri, ikisi veya üçü diğer çekirdekleri de parçalamaya yönelsin. Bu arada parçalanma suretiyle meydana gelen yeni nötronların bir kısmı yeni uranyum çekirdekleri-

ni parçalarlar. Bu suretle bu çekirdek reaksiyonu meydana gelir. Burada belirttiğimiz olayı, Uranyum 235'den yapılmış bir atom bombasının patlamaya oluyordur.

Zencirleme reaksiyonunun olması için lüzumlu en az madde miktarına kritik miktar denir. Daha aşağı kritik miktar tehlikeli değildir. Fazla kritik miktar daima kendiliğinden patlar. Çünkü bu patlama olayını meydana getiren serseri nötronlar bu madde içinde her tarafta vardır. Kritik miktar kavramı atom reaktörlerinde çok önemli bir rol oynar.

6. Reaktörler:

Bu kısımda, atom çekirdeğinden elde edilecek enerjiyi pratik olarak emre hazır kılan bazı teknik araçlardan söz açacağız. Bunlara atom reaktörleri, atom yakıcıları, atom hızlandırıcıları denildiği gibi, son zamanlarda daha çok reaktörler denilmektedir. Kullanma maksadına göre bu reaktörler 4 tipe ayrılmaktadır.

- 1°) Takat reaktörleri,
- 2°) Üretim reaktörleri,
- 3°) İşletme maksadını sağlayan reaktörler,
- 4°) Araştırma maksadıyla yapılan reaktörler,

Reaktörlerin sıralanmasında, parçalanma olayında kullanılan hızlı nötronlar, yavaş nötronlara göre de bir sıralama yapılabilmektedir. Buna göre reaktörler hızlı veya yavaş reaktör adını alır. Diğer bir noktayı nazara da, reaktörler içindeki önemli malzemenin fonksiyonlarına göre ayırma yapılmasıdır. Bu maddeler: Yakıt maddesi, yavaşlatıcı (Moderatör), ısı taşıyıcı ve soğutucu sıvı ve gaz maddeleridir. Bu maddeler yerine göre gaz, sıvı veya katı olarak kullanılır. Bu maddelerin çeşitli birleşimine göre 100'den fazla reaktör çeşidi yapılabilsen de bunlardan ancak 1/3'nün teknik bir önemi vardır.

Görüldüğü ki, teknik bakımdan çok çeşitli ve başarı sağlayacak reaktör tipleri vardır. Bu birleşmelerden bazıları aşağıdaki tabloda verilmiştir:

Parçalayıcı Nötronlar	Maddeler	Madde adedi		Misaller
Heterogen tipi Yavaş nötronlu Reaktörler	a) Yakıt b) Moderatör c) Isı taşıyıcı	3	$a = \neq b = \neq c$	a) Uranyum b) Grafit c) Hafif su
			$a = c = \neq b$	a=c) Plütonyum karbonat b) Grafit
		2	$a = \neq b = c$	a) Uranyum b=c) Ağır su
Homogen tipi hızlı nötronlu reaktörler	a) Yakıt c) Isı taşıyıcı	2	$a = \neq c$	a) Plütonyum c) Helyum gazı
		1	$a = c$	Plotonyum karbonat Madeni U 235 (Atom bombası)

Bazı reaktörlerde yakıt, yavaşlatıcı (moderatör), ısı taşıyıcı ayrı üç maddeden meydana gelir. Meselâ Uranyum, grafit, su gibi. Şimdiye kadar bu üç maddeye göre yapılan reaktörleri aşağıda tanıtaçğız.

Diğer reaktörlerde yakıt olarak Plütonyum karbonat, aynı zamanda ısı taşıyıcı olarak kullanılır. Grafit maddesi yalnız moderatör (yavaşlatıcı) olarak kullanılır Diğer hâllerde ise yavaşlatıcı ve ısı taşıyıcı olarak aynı madde kullanılmaktadır. Meselâ, ağır su gibi.

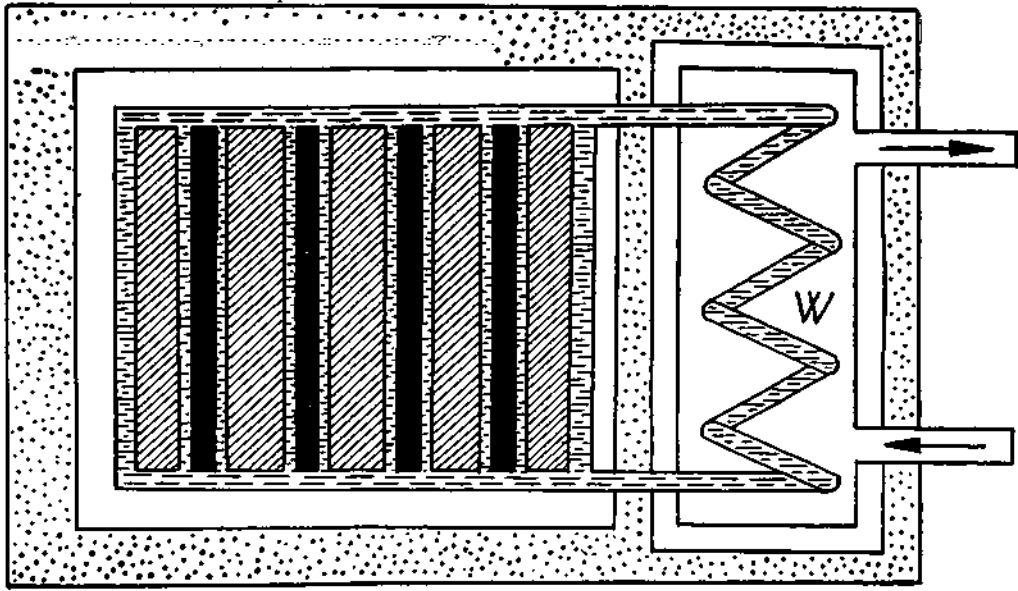
Hızlı reaktörlerde ise moderatör ortadan kalkmakta, iki çeşitli maddeden ibaret yakıt ve ısı taşıyıcı madde kullanılmaktadır. Meselâ Plütonyum ve Helyum gazı, veyahut aynı maddeden ibaret moderatör ve yakıt olarak plütonyum karbonat kullanılmaktadır Üç madde reaktörünün yapısı şematik olarak (Şekil 9.) da verilmiştir. Burada büyük

rı tutan kalın beton korum atabakası bulunmaktadır.

Reaktörün işletme durumunu düzenleme için kadmiyum çubukları kullanılır. Bunlar grafit plonunun deliklerinden içeriye sokulur. Bunların görevleri ileride açıklanacaktır.

Uranyum çubukları gazlara karşı bir örtü ile korunmaktadır. Bu suretle soğutma suyu ile uranyum çubuklarının teması kalmamaktadır. Makroskopik olay şu şekilde meydana gelir: Reaktör yapılıp işletmeye hazır vaziyete gelince, daha evvel reaktör içine daldırılmış bulunan kadmiyum çubukları çekilmeye başlanır. Bunun üzerine reaktör kritik hâle gelerek çalışmaya ve ısı artmaya başlar. Bu kadmiyum ayar çubuklarını az veya çok çekmekle arzu edilen ısı derecesi elde edilir.

Soğutma suyu pompa ile harekete geçirilir. Soğutma suyu ısı değıştirici yolu ile reaktör için



■ Yakıt

≡≡≡ /ısı taşıyıcı

//// Qavaş/ahcL

W /ısı t/a(Şts/incc

■ Betón mu/>afaxa

(Şekil : 9)

Üç yakıt maddeli bir reaktör şeması.

grafit blokunda bir çok delikler bulunmaktadır. Bu deliklerin içine Uranyum çubukları sokulmuştur. Bu çubukların ağırlığı 100 ton kadar olabilir. Burada kullanılan uranyum, tabii izotop karışımıdır. Bütün bu gövde ısı taşıyıcı olarak kullanılan su içine daldırılmıştır. Burada, suyun daimî hareketi sağlanarak suyun ısı enerjisi bir ısı değıştiriciye geçirilmektedir. Dışarıya doğru zararlı ışınla-

deki ısıyı dışarıya atar. Bu ısı ısınma maksadiyle veya buhar türbininin tahriki için emre hazırdır. Müsaade edilen ısı derecesi esas itibarile yapı malzemesiyle ilgilidir. Bu hususa ileride dokunulacaktır.

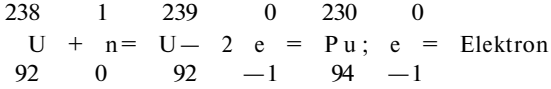
Reaktörlerde parçalanabilen madde harcanması, reaktörün takatına bağlıdır. Parçalanabilen madde harcanması, daha önce öğrendiğimiz:

ve ısı değiştirici ile dışarıya taşınır. Dışarıda da her hangi bir maksat için kullanılabilir.

şimdi de, aynı zamanda çekirdek reaksiyonu olayını-meydana getiren reaktörleri açıklıyalım. Bu olay sonucunda yeni bir madde olan Plütonyum 239 meydana gelmektedir. Bu madde uranyum 235 ile karşılaştırılabilecek şekilde kolayca parçalanabilmektedir.

7 — Yakıt üretme reaktörü :

Yukarıda belirtildiği üzere, üç madde reaktöründeki nötronların küçük bir kısmı uranyum 238 çekirdeklerine girer. Bu nötronlar, aşağıdaki denklemde ifadesini bulan bir çekirdek değişmesi olayına sebep olmaktadır :



Bu denkleme göre, nötron, U 238 çekirdeği içine girer. Meydana gelen sabit olmyan (İnstabil) ara çekirdekten, kendiliğinden iki elektron fırlar. Bu suretle U 238 çekirdeği, Plütonyum 239 adı verilen yeni bir maddeye dönüşür. Bu Plütonyum çekirdeği 94 proton 145 nötrondan ve toplam olarak 239 nukleon'dan meydana gelir. Bu açıklanan değişme olayının (yarı değer süresi) aşağı yukarı 2,5 gün sürer. Plütonyum çok değerli ve faydalı

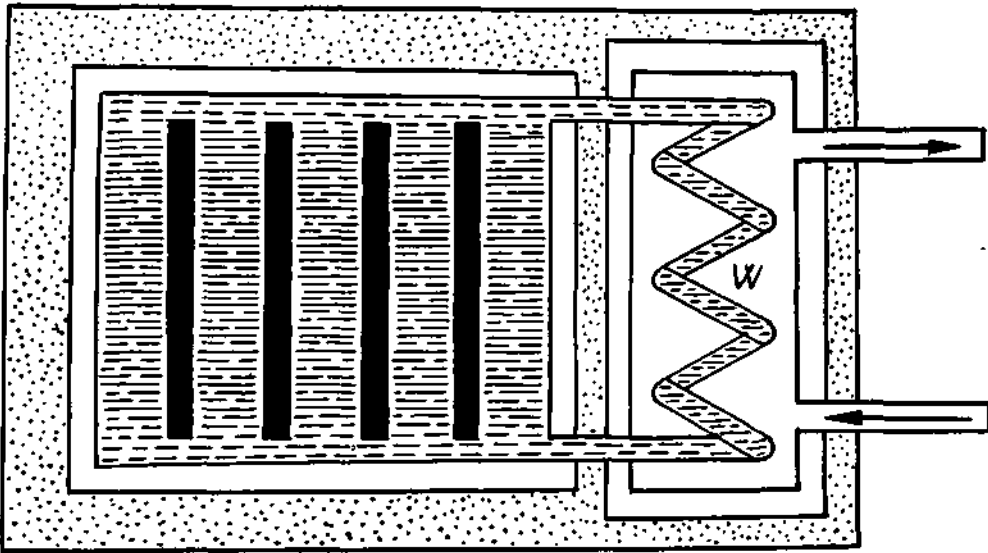
bir maddedir. Çünkü, yukarıda da belirtildiği üzere, plütonyum da termik nötronlarla parçalanabilmekte ve dolayısıyla uranyum 235'in görevini görmektedir

Yukarıda belirtilen reaksiyon, reaktör içinde devam ettikçe, uranyum 238 çubukları içinde yavaş yavaş plütonyum birikmeye başlar. Çubuklardaki bu plütonyum artışı, çubuk ağırlığının binde birini bulunca, uranyum çubukları reaktörden çıkarılarak, meydana gelen plütonyum kimyasal olarak çubuktan ayrılır. Bu olay, İzotopların ayrılmasından daha basit, kolay ve faydalıdır.

Uranyum 235 gibi, plütonyum da askerî maksatlar için veyahut, reaktörlerin kurulmasında artırılmış yakıt maddesi olarak kullanılmaktadır. Uç madde reaktörlerine örnek olmak üzere, Hanford (Birleşik Amerika'da) tabii uranyum, grafit ve sudan meydana gelen, 300 MW termik <akatlı bir reaktörü anabiliriz. Bu reaktörde, bir günde 1 kg. plütonyum elde edilmektedir.

8 — Diğer reaktör tipleri:

Çeşitli reaktörlerin yapılmasındaki imkânların bolluğu hakkında kısaca bilgi verilmek için, şekil (11, 12 ve 13) deki şemalar verilmiştir. Bu şemalarda gerekli ana kısımlar gösterilmiştir. şekil (11) de ısı taşıyıcı sıvı, aynı zamanda yakıt mad-



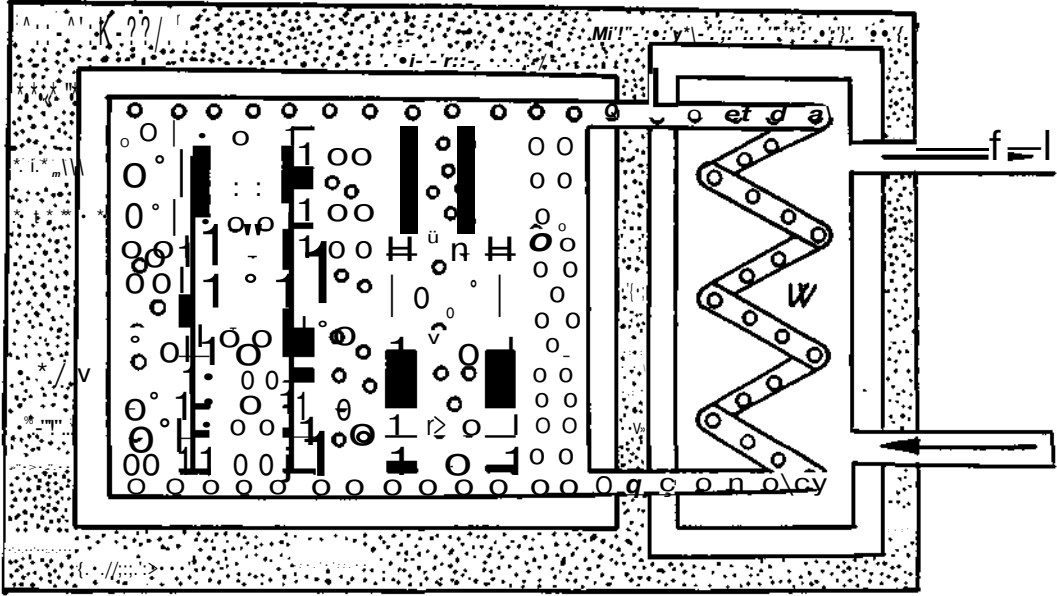
Yakıt
 Bat' on muhafaza
 /st /sıtyıcı ve yavaşlatıcı
 W /st değiştirici


(şekil : 11)

İhu maddeli Heterogen reaktörü.

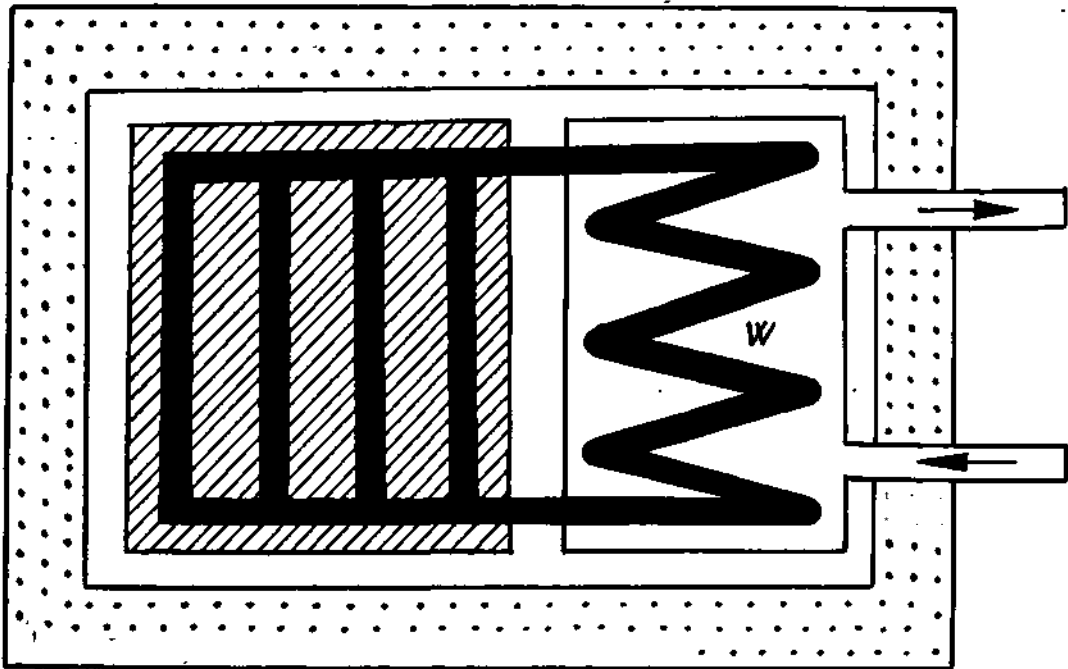
desidir. Şekil (12) de gaz şeklindeki ısı taşıyıcı madde, aynı zamanda yakıttır. Şekil (13) de ise,





sıvı yakıt maddesi, aynı zamanda ısı taşıyıcı görevi görmektedir.



- | | | | |
|---|-----------------------|---|--------------------------|
|  | <i>Yakıt</i> |  | <i>888 /ısı taşıyıcı</i> |
|  | <i>Beton muhafaza</i> |  | <i>W At değiştirici</i> |

(Şekil: 12)
İki maddeli Homogen reaktör.



- | | | | |
|---|---|---|--------------------------|
|  | <i>Yakıt (sıvıya. ısı taşıyıcı, '//////ti</i> |  | <i>Yavaşlatıcı</i> |
|  | <i>Beton muhafaza</i> |  | <i>W /SA değiştirici</i> |

(Şekil: 13)
İki maddeli Heterogen reaktörü.

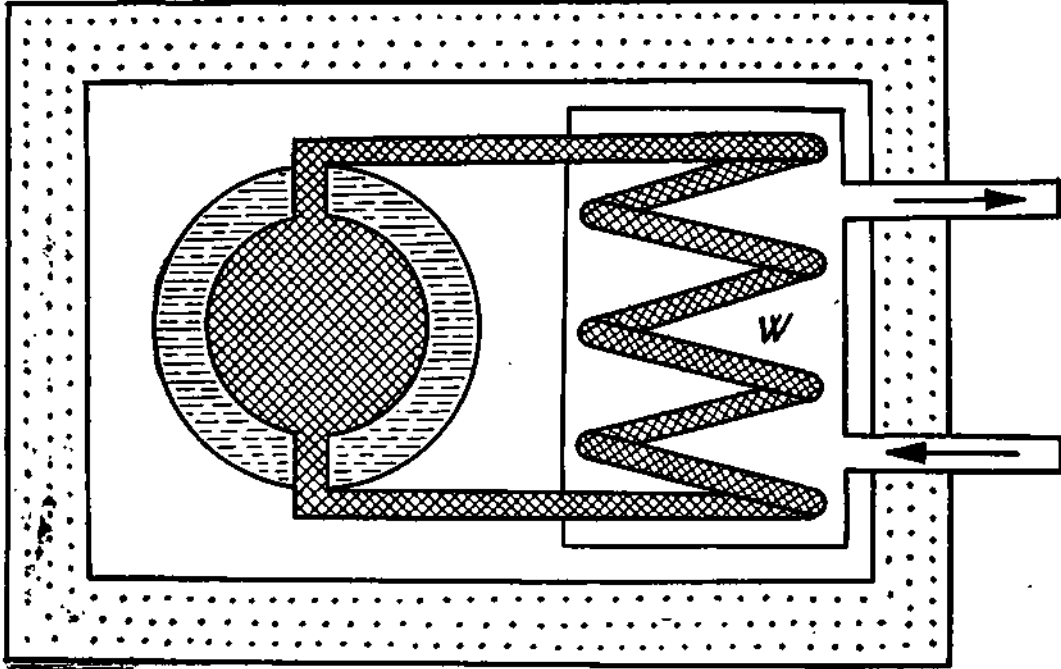
Şekil (11) de iki maddeli Heterojen sistemi,
Şekil (12) de iki maddeli Homogen sistemi,

Şekil (13) de iki maddeli Heterojen reaktör sistemi görülmektedir. Bu üç sistemde de reaktörler yavaş çalışırlar Buna karışık şekil (14) de gösterilen tek bir maddeli homogen reaktöründe ise, sıvı yakıt aynı zamanda ısı taşıyıcı olup, hızlı çalışmaktadır. Bu reaktörde, D_2O içinde erimiş uranyum sülfat kullanılmaktadır. Uranyum sülfat içinde yüzde 95 U 235 maddesi karıştırılmış bulunmaktadır. Yukarıda madde 5 te verilen (kritik kütle) ye ait bilgiye göre: küre şeklindeki yakıt maddesinde bir zincirleme reaksiyonu meydana geldiği hâlde, ısı değiştirici olan borularda ise, ortalama nötron yolunun uzun olması yani tamamen geometrik sebeplerle zincirleme reaksiyonu meydana gelmektedir. Nötronların dışarı çıkmasıyla meydana gelen nötron kaybını azaltmak için, reaktör küresi dıştan ağır su ile kaplanır. Bu sayede dışarı çıkmak isteyen nötronlar tekrar küre içine geri dönerler. Diğer bir reaktör tipi de şekil (15) de verilmiştir. Ana reaktörün kesiti gösterilmiştir. Ana reaktör 4 Kg. lık uranyum karışımından meydana gelmiştir. Uranyum yüzde 93 oranında zenginleştirilmiştir. Bu reaktör bir yavaş reaktör olup, durdurucu ve ısı

taşıyıcı olarak adi su kullanılmaktadır. **Reaktörün** takati 30 MW. dir Dayanma derecelerini kontrol edilmek, istenecek malzeme üzerine şiddetli nötron akımı göndermek için reaktörün bir çok giriş ve çıkış geçitleriyle (kanalları), termal kolon denilen iki kolon vardır. Burada, reaktörün önemli bir işletme ölçüsü üzerinde durmak gerekir: bu nötron akım şiddetli (flux) dir. Bu değer bir cm^3 madde hacmi içindeki nötronların, bir saniyede yol uzunluğuna (track-length) eşittir. Bu değer birimi şöyle yazılır:

(cm/cm^3 , sec) veyahut (l/cm^2 , sec)

1 cm^3 içindeki bütün çekirdeklerin toplam kesitlerini Σ , (p) nötron akımı şiddetiyle çarparsak: $J \cdot p$ ifadesi bize, 1 cm^3 içindeki bir saniyede meydana gelen çekirdek reaksiyonunun sayısını verir. Madde kontrolü reaktöründeki nötron şiddeti p, miktarı bilhassa büyüktür. Ölçü değeriyle ($10^{14}/cm^3 \cdot sec$) dir. Yani 1 cm^3 hacim içindeki nötronların bir saniyede aldıkları yol aşağı yukarı 10^{14} cm. veya bir milyar kilometre kadardır. Diğer reaktör tiplerinde ise, nötron akımı şiddeti, madde kontrolü reaktöründekine göre 10 veya 100 defa daha küçüktür.



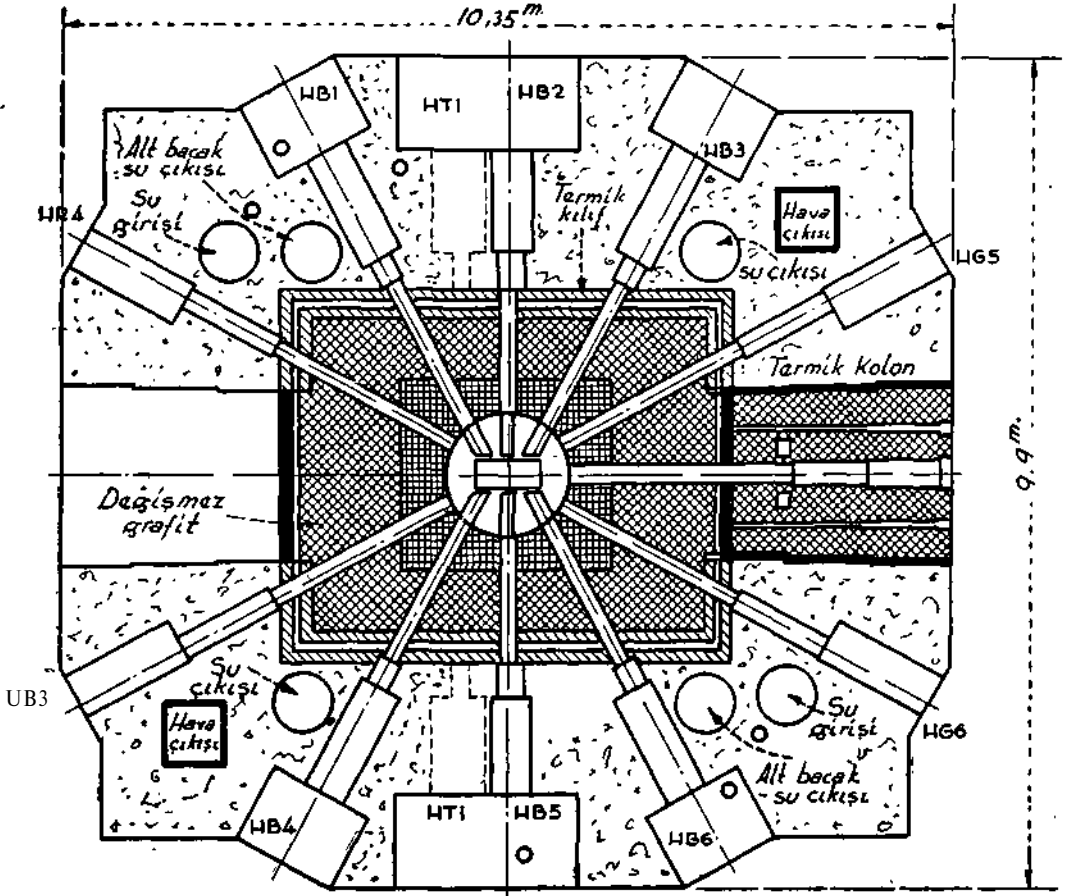
KSE Sıvı yakıt va/sı Aesıyıcı.

PH Seve reflaktör

PH Bañan mc/As/azâ

W /sı değıstirici

(Şekil: 14)
Tek maddeli Homogen reaktörü.



(ŞekU: İS)
Madde kontrol reaktörünün bir kesiti.

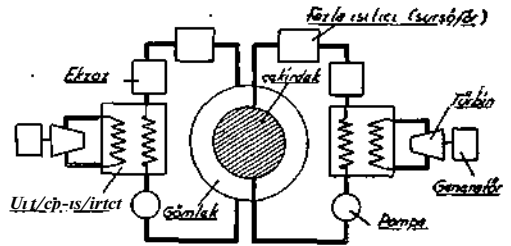
9 — Konverter ve kuluçka reaktörleri (Üretici reaktörler) :

Yukarıda, üç madde reaktörlerini üretme reaktörü olarak gözden geçirirken, reaktörün ısı enerjisi verdiğini ve aynı zamanda, ^{238}U 'i parçalanabilen Plütonyum haline getirildiğini görmüştük. Bu olay ile birlikte tabiiyle parçalanabilen uranyum ^{235}U maddesi de harcanmaktadır.

Burada çok ilgi çekici bir gerçek ile karşılaşırız : Reaktör bir taraftan parçalanabilen madde harcarken diğer taraftan da kendi kendine yeni parçalanabilen maddeler meydana getirmektedir. Şöyle bir soru akla gelebilir: acaba, reaktör parçalanabilen madde harcadığı oranda veya daha çok, parçalanabilen yeni madde üretecek şekilde işletilebilir mi? Gerçekte bu sonuç elde edilebilir. Bu şekilde işleyen reaktöre kuluçka (üretici) reaktörü adı verilir. Şayet reaksiyon olayına meydana gelen parçalanabilir madde miktarı, harcanan parçalanabilen madde sayısından daha az ise, böyle bir reaktöre konverter denir.

Şekil (16) da hızlı kuluçka reaktörü adı verilen bir reaktör şeması görülmektedir. Bu reaktörde, birbirinden ayrılmış iki sıvı dolaşımı var-

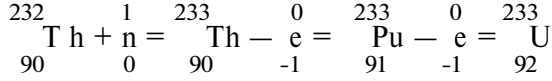
dır. Şekilde taranmış gösterilen küre şeklindeki reaktör çekirdeğinde uranyum sülfat bulunmaktadır. Bu madde yüzde 93 oranında ^{235}U ile zenginleştirilmiş olup, ağır suda eritilmiştir. Esasen bu reaktör, şekil (14) de görülen tek bir madde reaktördür. Aynı sıvı maddesi hem yakıt ve hem de ısı taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. Bu sıvı bir pompa ile dolaştırılır. Bir ısı değiştirici yolu ile ısı türbinlere geçer. Bu olaya kuluçka olayı ikinci dolaşım devresi olarak eklenir. Reaktörün merke-



(Şekil : 16)
Hızlı Nötronlu üretici (kuluçka) reaktörü feması.

zi etrafına bir gömlek geçirilmiştir. Bu gömlekte, ağır suda erimiş Toryum tuzu bulunmaktadır. Yakıt çekirdeğinde meydana gelen hızlı nötronların

bir kısmı bu gömleğe nüfuz eder. Bu nötronlar buradaki toryum 232 cismini değiştirerek, şimdiye kadar sözünü etmediğimiz yeni bir madde olan Uranyum 233 maddesi meydana gelir. Bu olay aşağıdaki şema ile gösterilmiştir :



Gömlek içindeki çekirdek reaksiyonları dolayısıyla, burada da ısı elde edilir. Buradaki sıvı reaksiyon maddesi de aynı zamanda ısı taşıyıcı vazifesini görür. Gömlek içindeki sıvı da bir pompa vasıtasıyla dolaştırılarak hareket ettirilir. Isı enerjisi, bir ısı değiştirici yoluyla türbinlere gönderilir.

Bu reaktörlerde elde edilen U 233 miktarı, işletme için harcanan U 235 miktarından daha fazla olacak şekilde işletilebilir. Buna göre bu reaktör bir kuluçka reaktörü gibidir.

Kuluçka reaktörleri için önemli bir sayı, iki kat arttırma zamanıdır. Bu süre, reaksiyona bağlı yakıt miktarının iki katına çıkıncıya kadar reaktörde geçirilen süredir. Bu iki kat arttırma süresinin değeri bugünkü gelişme imkânlarına göre bir yıldır.

Burada açıklanmasına çalışılan sıvı yakıtlı ve sıvı ısı taşıyıcılı reaktörün faydası, yeniden meydana gelen parçalanabilir, maddeyi elde eden reaksiyonun ve zararlı mahsulleri ayıran hazırlama olayının devamlı oluşudur. Buna karşılık, katı yakıtlarla çalışan reaktörlerde ise, böyle bir durum yoktur.

10 — Plânlanan ve yapılan reaktörlerden bir kısım :

Tablo (IH) de, bugüne kadar çeşitli dünya memleketlerinde yapılmış veya plânlanmış veya hut yapılmasına başlanmış çeşitli reaktör tiplerinin özellikleri gösterilmiştir.

Yukarıda verilen açıklamayla bu tablodaki bilgiler anlaşılabilir.

11 — ATOM KUVVET SANTRALLARININ YAPISI VE GELECEKTEKİ GELİŞMELERİ

1") NÜKLEER ENERJİNİN ROLÜ:

Dünya yakıt ve elektrik harcamasını incelemek için (Q birimi) diye adlandırılan yeni bir birim kullanılmaktadır. Bir (Q) nun değeri aşağı yukarı 10^{21} jule (veya 277×10^{12} kilovat saat'e) eşittir. Başka bir deyimle, 1 Q'luk enerji: 43 milyar ton kömür enerjisine eş değerdedir.

Son onbeş sene içinde elektrik enerjisi harcamasının endüstrinin muhtelif kollarında çok hızla

arttığı ve bu sebeple yeni kuvvet santrallerinin kurulmasına gidildiği dünyanın ileri memleketlerinde görülmektedir.

Elektrik enerjisi harcaması, endüstriyel üretime göre değişir. Kimya endüstrisinde bu miktar en yüksek değerine ulaşır. Bazı endüstri kollarında elde edilen maddenin tonu basma 1000 ilâ 10.000 kilovat saatlik enerji lâzımdır. Bununla beraber, kimya endüstrisi için gerekli enerji miktarı çok daha geniş limitler dahilinde değişir. Meselâ, Sülfirik asit için ton basma 50 kWh. lık enerji gerektiği halde, kauçuk endüstrisi (Buna rubber için ton başına 40.000 kWh. lık enerjiye ihtiyaç bulunmaktadır. Endüstrinin diğer kolları için gerekli enerji 1000 kWh. den azdır. Meselâ çimento endüstrisi için ton basma 100 ilâ 150 kWh. Çelik endüstrisi için 720 ilâ 820 kWh. enerjiye ihtiyaç vardır. (Tablo A) da çeşitli endüstri ve ziraat ürünleri için gerekli enerji gösterilmektedir.

Elektrik enerjisinin fiatı endüstri mamullerinin fiatı üzerinde geniş değişiklik meydana getirir.

Elektrik enerjisi fiatı alüminyum elde edilmesindeki maliyeti % 25; Elektro — metalürji elde etme maliyetini % 12; çimento elde etme maliyetini % 10; kimya ürünleri elde etme maliyetini % 3,5; kâğıt endüstrisi maliyetini % 3 oranında etkiler. Bu sebeple elektrik enerjisi fiatının bir memleket endüstrisi ürünleri üzerinde geniş maliyet değişiklikleri meydana getirdiği gözönünde tutulursa, her gün biraz daha fazla geniş ve ucuz elektrik enerjisi elde etme kaynaklarının aranması yönüne neden gidileceği tabii bulunacaktır.

Aynı şekilde yeraltından maden cevherlerinin toprak üstüne çıkarılması maksadıyla, kompresörlerin çalıştırılması, havalandırma tesislerinin ve taşıma işlerinde kullanılan araçların işletilmesinde kullanılan elektrik enerjisi miktarı, maden cevherinin tonu başına 10 — 45 kWh, arasında değişir. Bazı özel hallerde bu miktar 80 kWh'a kadar çıkar.

Maden cevherlerinin eritilerek artırılmasında geniş miktarda elektrik enerjisi gerekmektedir. Meselâ, Nikel için ton başına 2650 kWh; elektrolitik mangan (Mn) için 11.000 kWh; Silicon madeni için 19 000 kWh; Titanyum madeni için 44.000 kWh. enerjiyi gerektirir. Maden fiatları üzerinde elektrik enerjisi fiatının etkisi toplam olarak % 8 ilâ 20 arasında değişir.

Aynı şekilde, Ziraî mahsuller üzerinde elektrik enerjisinin rolü çok ilgi çekici bulunmaktadır. Bu hususta (A) tablosunda kısmen bilgi verilmiştir.

İsa'nın doğuşundanberi harcanan kömür miktarı 13 Q'yu geçmemektedir. 1850 yılına doğru yanabilen fosil yakıtlarından insanlar tarafından meydana getirilen enerji miktarı aşağı yukarı 1Q'den az

TABLO III

Memleketi (Country)	İşareti veya adı (Symbol or name)	Faaliyet yılı, (Year of commen- cement)	Reaktör tipi (Reactor type)	Yavaşlatıcı (Modera- tor)	Reflektör (Reflec- teur)	Soğutucu (Coolant)	Kullanılan yakıt (Type of fuel)	Termik kapasite (Thermal capacity) Megavat	Elektrik kapasite (Electric capacity) Megavat	Elektrik kapasitesinin kW başına maliyeti	
										Yakıt ve yavaşlatıcı dahil (Including fuel and moderator)	Yakıt hariç (Excluding fuel)
Türkiye	Atatürk Deney R. TR — 1	1961	Havuz (Piscine)	Adi Su	Adi Su	Adi Su	tak. 4 kg. % 90 zenginleşmiş U 235	1	—	Termik KW için \$ 2900	—
Belçika 1958 sergisi pi- lot santr.	Heysel	1958	Basınçlı Su	Adi Su	—	Basınçlı Adi Su	Zengin U 235 (U ₀ ₂ + Al) tuzu.	41.7	11,5	\$ 520	—
Rusya flimler akad. pi- lot santr.		1954	Basınçlı Su	Grafit	Adi Su	100 atm. Adi Su	% 5 zengin. 550 kg. U	30	5	—	—
U.S.A.	Hersey (Michigan)	1961	Homogen	Ağır Su	—	Yakıt dolaşımı	Fazla Zengin. U	38	10	\$ 450	—
>	Monroe (Michigan)	1960	Hızlı		—	Sodyum	% 35 Zengin, uranyum	300	100	\$ 473	—
>	Dresden Illinois	1960	Kaynar Sulu	Adi Su	—	Adi Su	Az Zenginleşmiş Uranyum.	63C	180	\$ 250	—
>	Indian Point (Newyork)	1960	Basınçlı Su	Adi Su	—	Adi Su	Fazla Zeng. U- ranyum U235 ve Toryum.	500	275	\$ 255	—
>	Arco idaho E B WR	1956	Kaynar Sulu	Adi Su	—	42 atm. kaynar H,	% 1,75ü + Zr. 1 kg. U235 % 90 zeng. 4.5 ton tabu U.	20	5	\$ 3400	—
»	Arco — İdaho Borax	1954	Kaynar Sulu	Adi Su	—	20 atm. 80 l/dak. kaynar Su	% 90 zengin. 11.8 kg. U 235	15	3,5	\$ 1550	—

TABLO III

Memleketi (Country)	İşareti veya adı (Symbol or name)	Faaliyet yılı (Year of common- cernent)	Reaktör tipi (Reactor type)	Yavaşlatıcı (Modera- tor)	Reflektör (Reflee- teur)	Soğutucu (Coolant)	Kullanılan yakıt (Type of fuel)	Termik kapasite (Thormal capacity) Megavat	Elektrik kapasite (Electric capacity) Megavat	Elektrik kapasitesinin kW başına maliyeti	
										Yakıt ve yavaşlatıcı dahil (Including fuel and modera- tor)	Yakıt hariç (Excluding fuel)
Fransa	Marcoule G ₁	1955	—	1000 ton grafit	Grafit	Adi Su	100 ton tabii U	40	5,75	—	—
>	G ₂ Ga	1957 1959	—	1200 ton Grafit	Grafit	15 atm. C ²	100 ton tabii U	150 150	30 30	beheri için \$ 1433,—	—
»	EDF1	1960	—	Grafit	—	25 atm. C ² Ağır su yüksek basınç 85 atm.	140 ton tabii U	300	60	\$ 540 —	\$ 440,—
Kanada	Des loachims NPD	1960	—	Ağır su 16 ilâ 127° C.	—	—	—	—	20	\$ 750	—
>	Chalk River NRU	1957	—	Ağır su	Adi Su	Ağır su	tabii U	—	—	—	—
İngiltere	Calder Hail	1956	—	1200 ton Grafit	—	C ²	130 ton tabii U	200	46	\$ 610	—
Brezilya	—	1961	Kaynar sulu	Su	Su	Su	% 25 zengin U 235 li	50	10	\$ 976	\$ 724
Kanada	—	1959	Basınçlı Su	Ağır su	Ağır su	Ağır su	Tabii U02	80	20	—	\$ 450
İngiltere	—	1961/1962	—	Grafit	—	C ²	tabii U	550	150	\$ 145	\$ 405
U. S. A.	—	1960	Basınçlı Su	Adi Su	—	Adi Su 140 atm.	Zenginleştirip miş UO ₂	482	134	\$ 250	—
U. S. A.	Shipping- port	1957	>	Adi Su	—	Adi Su 150 atm. 190 mVdak	52 kg. U235 % 90 zengin Zr—U şeklinde	264	60	\$ 1170	—

TABLO III — Muhtelif memleketlerin NÜKLEER ENERJİ REAKTÖRLERİnden bazıları:

Memleketi (Country)	İşareti veya adı (Symbol or name)	Faaliyet yılı (Year of common- cement)	Reaktör tipi (Reactor type)	Yavaşlatıcı (Modera- tor)	Reflektör (Reflec- teur)	Soğutucu (Coolant)	Kullanılan yakıt (Type of fuel)	Termik kapasite (Thermal capacity) Megavat	Elektrik kapasite (Electric capacity) Megavat	Elektrik kapasitesinin kW başına maliyeti	
										Yakıt ve yavaşlatıcı dahil (Including fuel and moderator)	Yakıt hariç (Excluding fuel)
USA.	Dresdea B. W. R.	1960	Kaynar Sulu	Ağı Su	—	Kaynar Su	az zengin U O ₂	627	180	\$250	—
»	Santa Susanna S.R.E.	1957	Sodyum grafit	Grafit (Zr levhası ile kılıflı)	—	8 ton/saat Na Sıvı	% 2,8 zenginleşmiş 25 ton U + % 90 U	20	7,8	\$1333	—
VSA. (Breeder Nol)	Arco — İdaho E.BJR.1	1951	Oto — generatör Hızlı	yok	—	Sıvı Na 1200 1/dak	tabu uranyum	1,4	0,25	\$24000	—
USA. (Breeder No 2)	Arco — İdaho E.B.R. H	1959	»	yok	—	4400 1/dak sıvı. Na	% 80 tabii uranyum ve % 20 Pu.	65	15	\$1600	—
İngiltere	Dounreay (fast Breeder)	>	>	yok	—	sıvı Na	U 235 veya Pu 239	60	—	Birkaç milyon İngiliz lirası	—
U.S.A..	Oak Ridge Ten H R E Ü	1956	»	Ağır Su	—	400 g/dak yakıt eriği	% 90 U 235	10	2	—	—
U.S.A.	Brook- haven I.N.Y.	1957	»	Grafit	—	Sıvı Bi Orta çevre sıvı Na	Sıvı Bi'de eritilmiş U233.	—	210	\$238	—

bulunmakta idi. Hâlen bu enerji'nin 10 Q'ye yakın olduğu kabul edilebilir. Senelik enerji ihtiyacı artışının da 0,1 Q olduğu esas alınarak, her onbeş yılda bir bu artışın iki katına çıktığı kabul edilirse, 2000 yılındaki toplam enerji ihtiyacınının 30 ilâ 50 Q arasında bulunacağı görülür.

Buna mukabil işlenebilen ihtiyat (rezerv) kaynaklar nelerdir' sorusunu sorabiliriz

Yapılan hesaplara göre: Toplam kömür fosillerinin 80 Q; toplam sıvı fosil yakıtları enerjisinin de 6 ilâ 10 Q arasında bulunduğu tahmin edilmektedir. Buna göre 2000 yılında dünya petrol kaynakları 2025 yılında dünya kömür kaynakları bugünkü harcama temposuna göre bitecektir.

Maliyet fiyatının yüksekliği dolayısıyla beyaz kömür kaynaklarının işletilmesine eğilim gittikçe azalmaktadır. Diğer taraftan; kömürün kimyevi maddeleri elde etme bakımından en önemli kaynak olduğu unutulmamalıdır Bu bakımdan kömür kaynaklarının tükenmesi halinde, bunun yerine koyabileceğimiz ve kimya mahsullerini elde edebileceğimiz başka bir kaynak yoktur.

Buna göre kömürü yakarak ondan enerji elde etmek, asrımızın ve geleceğin kimya kaynaklarını boşuna harcamak demektir. Bu husus gözönünde tutularak, hiç bir milletin yakıt olarak kömür kaynaklarını harcamaması hayati bir önem taşımaktadır.

Sıvı yakıtlara gelince, esasen miktarının az bulunması bakımından, bu kaynağın da atonom ara-balar için bir rezerv yakıt olarak saklanması gereklidir.

Fisil yavaş veya hızlı nötronlarla çekirdekleri değişen maddeli yakıt reverzlerine gelince :

Bununla kolayca işletilebilen Uranyum ve Tor-yum rezervleri ifade edilmek istenmektedir. Eğer bir kaç on yıl içinde yakıt çevresi bilgisinin kesin olarak uygulanması imkân dahiline girerse (Fertil maddelerin tam olarak otogenerasyon yapılması

halinde), bu kaynakların 1000 ilâ 3000 Q miktarında enerji vereceği sanılmaktadır.

Değişme emsali (Konversiyon faktörü) en az 0,8 bulunacak bir oto generatör'den, U 235 parçalanmasından dolayı 3' ilâ 10 Q kadar bir enerji alınabileceği gibi, foritil kendi kendine parçalanmayan, bir nötron kaptıktan sonra parçalanabilir bir elemente çevrilen maddelerin kısmı konversiyonundan dolayı da ek olarak 15 ilâ 100 Q mertebesinde enerji elde edilebileceği hesaplanmaktadır.

Şimdiki durumda dünyadaki vaziyete göz atacak olursak: Çeşitli memleketlerdeki durumun birbirinden çok ayrı olduğu görülür Birleşik Amerika ve Sovyet Rusya'da Fosil yakıt rezervlerinin yüz yıllık enerji ihtiyacına yeteceği sanılmaktadır.

Avrupa'nın diğer memleketlerinde ise bu tabii fosil kaynakları çok daha kısa zamanda tükenmektedir. Buna göre, ortada bir gerçek vardır O da, olu ekonominin sıkıntısı altında bulunan Avrupa memleketleri, 2000 yılı için hiç olmazsa elde edecekleri elektrik enerjilerinin % 50 sini Nükleer yakıtlardan sağlamak zorundadırlar.

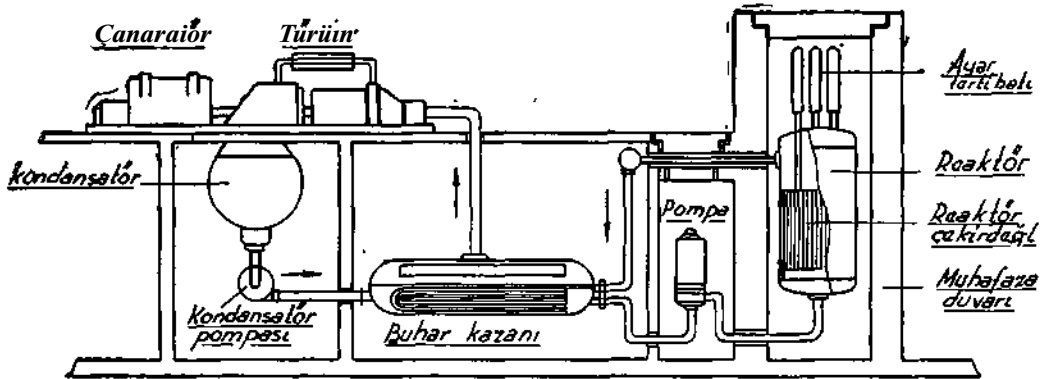
2), ATOM SANTRALLARININ YAPIMINDA ETKİLİ FAKTÖRLER:

Bir atom santralının yapımının en önemli ve karışık kısmı, zincirleme reaksiyonlarının ve ısı değişikliklerinin düzenlendiği reaktör elemanıdır. Fakat atom santrallarını diğer termik santrallardan ayıran yalnızca bu kısım değildir. Atom santrallarında gerek inşaatçıyı, gerekse işletme personelini repyeni ve güç meselelerle karşı karşıya bırakacak tesis kısımları bulunmaktadır.

a) ATOM SANTRALLARININ YAPIMI

Birkaç örnekle ilk önce atom santrallarının yapımını açıklayalım, önce basınçlı su ile çalışan reaktör tipli atom santralını ele alalım.

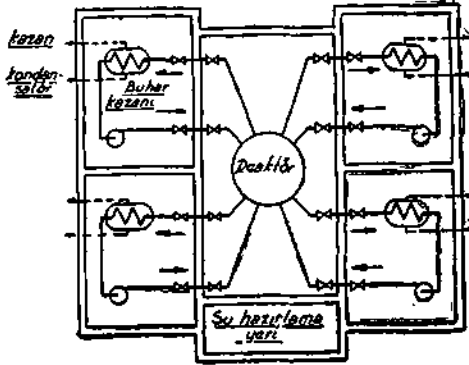
Şekil (17) Böyle bir tesisatın şemasını göstermektedir. Reaktörde meydana gelen ısı, primer devreli olarak pompalanan su ile iletilir. Su 100



(Şekil : 17)
Basınçlı su ile çalışan reaktör tipli bir atom santral şeması

Atm. basınç altında bulunduğu için, reaktörün işletme ısısında primer devredeki suyun kaynaması önlenmiş olur. Primer su devresi sıcaklığını sekonder (ikinci) devredeki buhar elde edicisine verir, ikinci devrede elde edilen buhar, radyo aktif olmadığı için, direkt olarak türbine verilebilir. Buhar kuru, doymuş alçak basınçlıdır. Zira salmastra elemanları bu gün için azami 250° c buhar ısısına göre güvenle çalışabilmektedir. Buna göre türbinler çokluk ıslak buhar bölgesinde çalışabildiğinden bu da özel tip türbin yapımını gerektirmektedir.

Bu gibi özel konstrüksiyon sayesinde gerekli buhar için özel yağ veya kömürle ısıtılan ısıtıcılara ihtiyaç kalmamaktadır.



(Şekil : 18)
60 MW'lık shippingpost atom santrali şeması.

Atom santrali ile termik santralını bu şekilde birlikte çalıştırmak ilk adımdır. Amerikada ekonomik düşüncelerle büyük bir tesis ilk defa bu şekilde plânlanmıştır. Şekil (18) de yapılmış bulunan 60 MW. 1ık (Shippingport) Atom santrali şeması görülmektedir. Güvenlik düşüncesiyle primer devre 4 ayrı sisteme bölünmüştür. Bu sistemlerin üçü te-

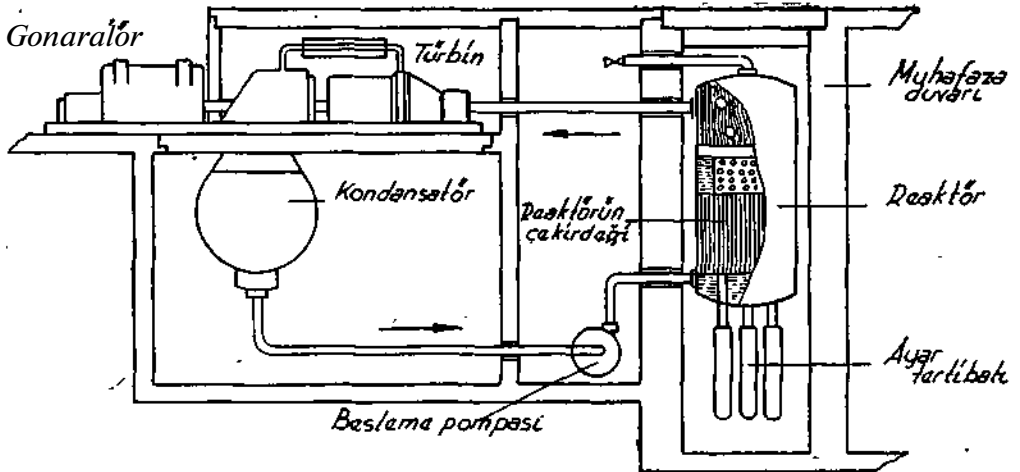
sisin tam gücünü vermektedir. Bu suretle primer devrede olacak bozukluklar için santralin durması önlenmiştir. Bu Atom santrali basınca dayanıklı üç adet çelik kaptan meydana gelmiş olup, ortadakinde, reaktör bulunmaktadır. Sağdaki ve soldaki çelik kapların her birine ikişer adet ayrı ayrı devrelerle bağlı buhar üreticileri yerleştirilmiştir. Şeklin sağ yarısında türbo — generatörler görülmektedir.

Shippingport tesisi ilk Amerikan Atom santrali olup, 1957 senesinde işletmeye konmuştur.

Bir başka Amerikan Atom santrali projesini inceleyelim.

Bu yeni tesisin reaktörü kaynar sulu, adından da anlaşılacağı üzere, reaktörde buhar elde edilmekte ve bu buhar doğrudan doğruya türbine verilmektedir. Şekil (19) da kaynar su ile çalışan reaktörlü bir santral şeması görülmektedir. Reaktörde elde edilen ısı doğrudan doğruya buhar üretimine yarar. Buhar reaktörden taze buhar borusu ile türbine gönderilir. Türbin kodansesine ait besleme pompası tarafından buhar tekrar reaktöre verilir. Kaynar sulu reaktör tesislerinde de türbin ıslak buharla çalıştırılır ve bu arada yağla ateşlenen bir ısıtıcının uygulanmasına baş vurulmaktadır. Reaktörden çıkan buhar hafif radyoaktiftir. Bu bakımdan şekilden de görüleceği üzere, türbin bundan korunmuş olmalıdır. Ancak, buharın radyoaktivitesi türbin durdurulduktan bir kaç dakika sonra kesilmekte böylece şayet salmastra elemanlarında bir aksama yok ise, türbine icabında hızla yol verilebilmektedir.

Bu tesis reaktörü ayar bakımından çift devreli reaktör olarak yapılmıştır. Türbin buharı iki basınç kademesinde almaktadır. Kaynar su reaktörlü ilk büyük tesis 5000 KW. gücünde 1956 yılı ortalarında Argonne National Laboratory'de (Chicago'ya yakın) işletmeye konmuştur. Tesisin özelliği reaktörü çeviren aşağı yukarı 12 m. çapındaki basınçlı



(Şekil: 19)
Kaynar su ile çalışan reaktör tipi atom santral şeması.

çelik muhafazadır. Basınçlı depo, reaktör patladığı zaman meydana gelecek iç basınca dayanıklı olarak yapılmıştır. Aynı tipten Chicago yakınlarında yapılan yeni bir atom santrali daha vardır. Tesis 180.000 KW. lik olup 1960 senesinde işletmeye açılmıştır. Tabiiyle, daha bir sürü başka atom santralleri vardır ve bunlar reaktörlerin farklı tipten olmaları ile birbirinden ayrılırlar İngilizlerin (Calder — Hail) deki grafit çamuru ve gaz soğutmalı reaktör ihtiva eden atom santrali ile Rusların grafit çamuru ve soğutma suyu ile çalışan ilk atom santralini da sayabiliriz.

Çok sayıdaki atom santrali yapımı bu gün atom tekniğinden faydalanmaya karşı büyük bir arzuyu ifade etmektedir. Bir çok çalışma ve deney yapılarak genel gelişme imkânları aranmakta ve değerli sonuçlar elde edilmektedir. 20 — 30 sene sonrası için atom santralleri hakkında çok az bilgi sahibiyiz. Bu santrallerin, bu günkü konstrüksiyonlarla pek ilgisi olmayacağı tahmin edilebilir. Tekniğin kısa zamandaki gelişmesine bakarak ne kadar hızla ilerleme yapıldığı kesin olarak anlaşılabilir.

Bununla beraber, gelecek için şu tahminde bulunulabilir :

Uranyum parçalanması esasına göre çalışacak gelecekteki kuvvet santralleri, kuluçka prensibine göre çalışan reaktörü ihtiva edeceklerdir. Kuluçka reaktörlerinin gelecekteki önemine bir örnek olmak üzere plânlama halinde olan hızlı kuluçka reaktörlü bir atom kuvvet santralının esaslarını belirtelim.

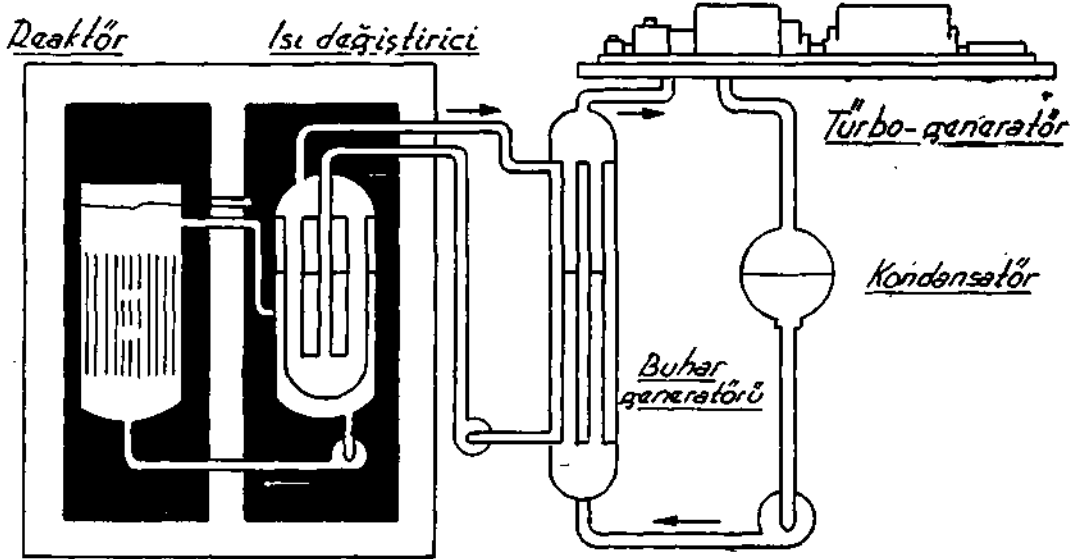
Bu deney, Detroit'de Edison kumpanyası ile 35 diğer şirket tarafından yapılmaktadır. Şekil (20)

de hızlı kuluçka reaktörlü atom kuvvet santrali şeması görülmektedir. Reaktörün çekirdeğinden ve gömleğinden elde edilen ısı, sıvı sodyum tarafından alınan primer ısı (Na—k) dan meydana gelmiş ikinci devre ısı değiştirici içine gönderilir. (Na—k) karışımı aldığı ısıyı buhar generatörüne verir.

Bu gelişmiş yapı metodu ile kızgın buhar elde eden ve normal yapıdaki türbinlerin kullanılmasına imkân veren bir işletme ısı elde edilebilmektedir.

Isı değiştiricide radyoaktivite bakımından olabilecek bir geçirgenlik dolayısıyla, suyun ve türbinin primer devresindeki yüksek radyo aktif sodyum ile kirlenmesini önlemek maksadile, sekonder ısı iletme devresi, sodyum ve su devresi arasına konmuştur. Bir güvenlik tedbiri olmak üzere, radyoaktif materyali ihtiva eden reaktör ile bütün diğer yapı parçaları, aşağı yukarı 26 metre çapında gazları geçirmeyen bir çelik örtü içine alınmıştır.

Reaktörün yanında sağ tarafta ısı değiştirici ve onun üstünde sodyum pompası bulunmaktadır. Sol tarafta kullanılmış parçalanabilir maddelerin depolanması ve değiştirilmesini temin eden tesisler yerleştirilmiştir. Reaktörden çıkarılan parçalanabilir maddeler için sodyumla dolu ve reaktörün yanında bulunan bir kuyuda radyoaktiviteleri azaltılıncaya kadar haftalarca bekletilir veyahut diğer bir deyimle, kurşun kaplarda hazırlama yerine taşınabilecek dereceye kadar soğutulur. Bu arada parçalanabilir maddelerin kullanılmasında ve diğer radyoaktif tesis parçalarının anlatılması çok ilgi çekici olmakla beraber, bu konunun ayrıntılarına dalmakla, asıl konumuzun dışına çıkmak istemiyorum.



(Şekil : 20)
Çift devreli kaynar sulu, üretici (kuluçka) reaktörlü, iki basınç kademe türbinli atom santrali.

100 MW. lık hızlı bir kuluçka reaktörlü atom kuvvet santralı projesini daha yakından tanıyabilmek için, şu bilgiler verilebilir.

Bu reaktörün elektrik gücü 100 MW, termik gücü 300 MW. dır. Reaktör'de % 25 zenginleştirilmiş U 235 çekirdeği bulunmaktadır. Gömlek de zenginleştirilmiş maddeden meydana gelmiştir. Yıllık U 285 harcaması 91,7 Kg. olarak hesaplanmıştır. Böyle bir santralda yıllık plütonyum elde edilmesi 109 Kg. olarak tahmin edilmektedir. Yani U 238'in plütonyuma çevrilme oranı % 20 fazla parçalanabilir madde elde edecek şekildedir. Buna göre üretme faktörü 1,2 dir.

Buhar türbininin önündeki taze buhar ısı 380° c, taze buhar basıncı aşağı yukarı 40 atm. dır. Bu santral 1960 yılında çalışmaya başlamıştır. Daha önce, reaktörün primer devresi bir yıl süre ile uranyumsuz sodyum dolgusu ile işletme sıcaklığında deneme işletmesine tabi tutulmuştur. Bu işletmenin büyüklüğünü tasvir bakımından 60 mühendis ve ilim adamı bu deneme devresinde çalışmıştır. Yalnız 1955 de bu maksatla harcanan gelişme masrafı 3,5 milyon dolar, 1956 da 5,5 milyon dolar olup, gelişme masrafları dışında tesisin kuruluş masrafı 54,6 milyon dolardır.

Verilen örneklerden ,bir atom kuvvet santralının ne gibi tesis parçalarından ibaret bulunduğu ve nasıl çalıştığı görülmektedir.

Bu örneklerden fizikçi, kimyager, metalurjistler, imalatçılar ve işletmecilerin ne gibi güçlüklerle karşılaştıkları ve ne gibi yeni meselelerin meydana çıktığı anlaşılır. Bilhassa, şimdiki gelişme çalışmalarlarıyla şiddetli radyoaktif ışınlarla maruz maddelerin ne dereceye kadar dayanacağı veyahut reaktör çekirdeği içinde parçalanabilir maddenin ne kadar süre ile reaktörde kalacağı veyahut teknik ifadesiyle ne kadar MW—gün/ton devam edeceği bilinemez.

Amerika'da atom laboratuvarlarında çalışan tanınmış bir uzmana bu kuvvet santralı hakkında geliştirilen bu projedeki parçalanabilir maddeler ne kadar MW—gün/ton devam ettiği sorulduktan, uzman şu cevabı vermiştir : Takriben 10.000 yıl.

Fakat gerçek durum beş yıl içinde öğrenilecektir. Bu cevap, bu günkü durumu açıklamaktadır.

Meselenin teknik cephesindeki bu güvensizlik yanında, bazı ekonomik problemler de vardır.

Atom kuvvet santralları sahasındaki ilerlemelelerin hızlı olacağını kabul edebiliriz. Dünyada birçok yerlerde büyük kuvvet santrallarının planlandığı veya yapıldığı duyulmakta ise de, aşılması gerekli bir çok zorlukların da bulunduğu unutulmamalıdır. Bir çok problemler yanında, burada bazılarına dokunalım. Meselâ, kaynak tekniğine bir göz atalım: Bir buhar kazanında vukubulan bir

boru patlaması Üzücü bir şeydir. Fakat genel olarak hayatı bir problem teşkil etmez. Buna karşılık radyoaktif tesis kısmındaki, dikişli bir kaynağın sökülmesi ise, önceden bilinmeyen sonuçlar doğurur.

Tesisin uzun süre durması sonucunda, ekonomik fayda ortadan kalkabilir. Bu bakımdan, atom kuvvet santrallarında mutlak bir güvenlik sağlanacak şekilde yapı işlerine dikkat edilir. Kaynakçının masraf ve çalışma müddeti, sağlayacağı güvenliğin önemi yanında hiç kalır. Kaynakçının çalışma esasındaki fizikî ve ruhî durumu, şimdiki kadar alıştığımız halden başka olmalıdır.

Hatasız malzeme kontrolü ve metalürji, atom kuvvet santralları kuruluşunda çok önemli bir rol oynamaktadır.

Tesis materyalinde şimdiki kadar aranılan belli evsaktan başka yeni çekirdek fiziğinin istekleri de aranmaktadır. Materyalin yapısı ve bileşimi bilhassa şiddetli nötron ışınlarıyla değişikliğe uğramaktadır ki, bunlar da tesis kısımlarının mekanik karakteristiğini bozmaktadır. Meselâ, bazı maddeler şişmekte (büyüme eğilimi göstermek) ve bazı maddeler de parçalanmaktadır. Bunların yanında çekirdekte fizikî bakımdan kullanılacak yapı maddeleri de çok azdır. Bir çok hallerde, bugüne kadar makina yapımında hemen hemen hiç kullanılmayan ve tabiatla çok az bulunan, pahalı materyale ihtiyaç bulunmaktadır

Bu maddelerin karakteristiğinin araştırılması için şiddetli nötron ışınları altında uzun deneme senlerine ihtiyaç vardır. Bu gibi araştırmalar ısıya dayanıklı çeliklerde yapılan uzun süreli araştırmalarla karşılaştırılabilirse de, bunlara göre karşılaştırılmıyacak kadar büyük masraf ve araçlara ihtiyaç vardır.

Bir atom kuvvet santralında da bir tesis parçasının dayanıklılık suresini tahminin de ne kadar dikkatli bulunmak gerektiği yukarıdaki açıklamadan kolayca anlaşılabilir. Diğer taraftan, bu bilgileri genelleştirmek bütün tesisin işleme süresinin kısa olduğunu da ileri sürmek doğru değildir. Zira, yapım tedbirleriyle nötron ışınlarının tesirlerinde kalan ve korrozion tehlikesi olan parçaların kolayca değiştirilmesi de düşünülebilir.

b) FİZYOLOJİK VE GENETİK FAKTÖRLER:

Nükleer enerji tesislerinin en karakteristik faktörlerinden biri de, işletici (operatör) personelin radyasyon etkisine uğramak tehlikesidir.

Derhal söyleyebiliriz ki, eğer gerekli tedbirler alınırsa bu tehlike çok azaltılabilir, bu hususda delil olarak, bugün bu tehlikelerin çok azaltılmış ve sınırlanmış olduğu gösterilmektedir. Fakat herşe-

ye rağmen önceden görülmeyen tehlikelerin bulunduğunu bilmemiz gerektir.

Meselâ, kömürle çalışan santrallarda yanma tehlikesinden başka bir şeyden bahsedilmediği halde, bir nükleer santralda radyasyon tehlikesine maruz bulunan bir kimsede (daha önceden hiçbir organın duymayacağı tesiri haber vermeye imkân olmadan), radyasyon kendi kendine öldürücü tesirini göstermektedir.

Cildimiz nörolojik bakımdan radyasyonlara hassas olmayıp, ancak Ultraviyole ışınlarına hassas bulunmaktadır. Bu bakımdan güvenliğimiz tamamiyle ölçü aletlerine bağlıdır.

Asıl fizyolojik tehlike, canlı dokuda bulunan suyun radyolitik olarak parçalanarak oksijenli su haline dönmesidir.

Radyasyon etkisine uğrayan bir kimsede görülen kusma ve diğer sindirim bozukluklarının şiddetli olması anemi general'in vücut bulmasına yol açar. Bu halin çok şiddetli olması takdirinde vücut organizması bütün bu tehlikelere karşı komyiyacağından bir kaç hafta içinde insanı ölüme götürür. Nükleer bir santralda bu cinstan çok şiddetli bir tehlikeye maruz kalınmasına çok az bir ihtimal dahilinde raslanılır.

Yavaş radyasyonun etkisinde kalınması halinde, kandaki kırmızı küreciklerin sayılmasıyla radyasyonun dozu ölçülerek mecburî bir dinlenme ve gerekli tedbirlerle dozajın azaltılmasına gidilir.

Reaktörlerdeki radyasyonların bazı durumdaki ölümden daha büyük bir tehlikesi de, uzun müddet süren genetik tesiridir. Bu tesirle, şahıslar kısır hale gelmekte ve bu kısırılık halinin 40 kuşak boyunca yani 1000 yıl müddetle süreceği hesaplanmış bulunmaktadır. Nükleer enerjinin genel kullanımında alınacak önemli özel tedbirlerin bu bakımdan yalnız genetik konu üzerinde olduğu görülür.

Radyo — izotopların endüstride, tarımda ve tıpta kullanılması daha çok dikkati olmayı gerektirmektedir

Genel olarak, bir atom harbinin insan geleceği için hesaplanamayacak kadar çok büyük tehlikeleri olacağını söylemek lüzumsuzdur. Dünyamızın hızla oturulmaz hale gelmemesini dilemekten başka bir şey yapamayız.

3») ATOM KUVVET SANTRALLARININ TESİS VE İŞLETME MASRAFLARI

Atom kuvvet santralları ve onların proplemleri hakkındaki yukarıki açıklamadan sonra, okuyucular herhalde bu tesislerin kurulma masraflarının ve enerji elde etmek masrafının ne miktar olduğunu bilmek isteyecektir.

Bu meseleler üzerindeki fikirler çok değişiktir. Bazı fikirlere göre, atom elektrik akımı bir gün o kadar ucuz olacağımsı, elektrik enerjisini sayaçlardan geçirmek bile gerekmedyecekmiş.

Tabiatıyla, böyle bir görüş yanlış bir düşüncedir. Bu kategorideki kâhinler, hesaplarına bugünkü tabii uranyum fiatlarıyla elektrik enerjisi durumunu karşılaştırarak çıkarmakta ve tam bir kuluçka üretim olayını tasavvur etmektedirler. Fakat, bu gibiler unuttuylarki, bu enerjinin elektrige dönüşmesi çok geniş ve pahalı tesislerin kurulmasına bağlı bulunmaktadır.

Bir kısım kâhinler ise % 50 — % 80 yakıt maddesi masrafının, parçalanabilir madde elde edilmesinde ve artık maddelerin reaktörden dışarıya atılmasındaki operasyonlarla kullanıldığı şeklinde yanlış bir direnmede bulunmaktadır.

Diğer taraftaki, aşırı düşünceli kimseler ise, atom enerjisi kuruluş masraflarının yüksek olması dolayısıyla, daha 20 yıl içinde atom enerjisinin enerji ekonomisinde önemli bir rol oynamayacağı kanısındadırlar. Fakat, Genel olarak pratikteki gerçek bu iki düşüncenin arasında bulunmaktadır.

Çeşitli firma laboratuvarlarının ve devlet idarelerinin son yıllardaki atom kuvvet santrallarının masraflarına ait yayınlarına bakılacak olursa, özel kuruluş masraflarının çok değişik olduğu görülmektedir. Yapılan bu tesbit şimdiki gelişme durumunda şaşılacak bir sonuç değildir. Bir çok kuruluş projelerinin masraflarında önemli derecede gelişme ve etüd masrafları yer almaktadır.

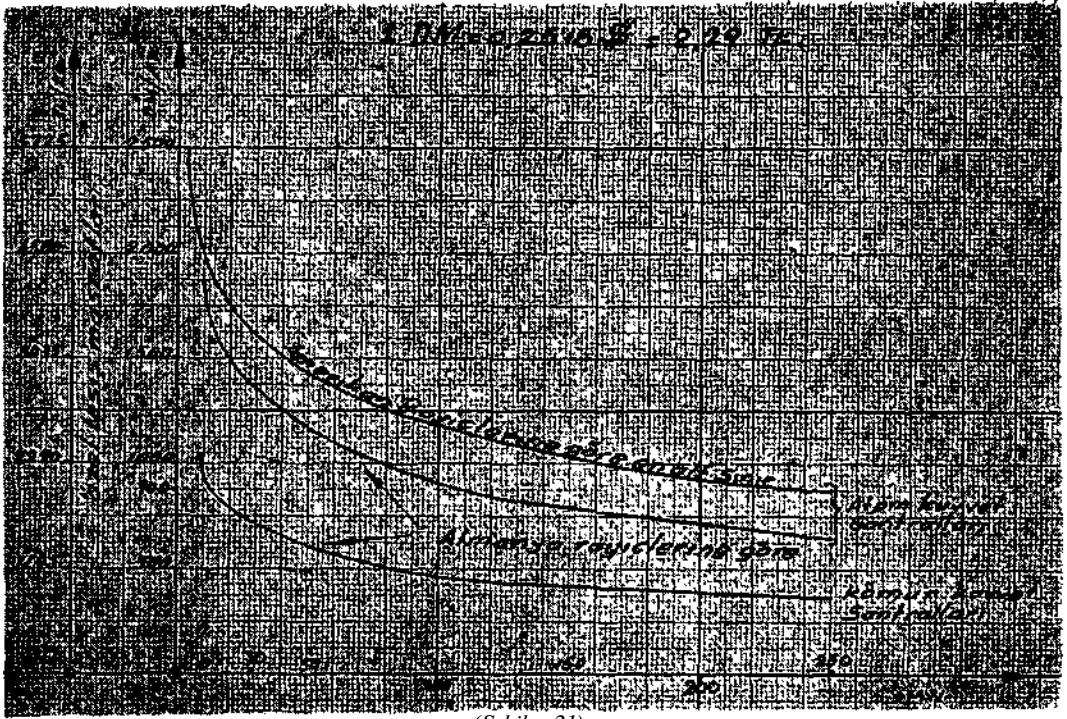
Aynı çaptaki ikinci ve üçüncü tesislerin daha ucuza çıkacakları muhakkaktır.

Atom kuvvet santrallarının masrafları hakkında geçen yıllarda verilen bilgilere göre büyüklük ve yapı cinsine göre, kilovat başına 900 ilâ 3700 Alman markına (DM) mal olmaktadır. Son aylarda elde edilen sonuçlara göre kuruluş masrafları bir sabitlik göstermektedir. Şekil (21) de, son bilgilere göre anahtar teslimi atom kuvvet santrallarının kuruluş masrafları grafik halinde verilmiştir.

Bununla beraber tesislerin kuruluş cinsine göre fiatlarda bir çok değişikliklerin olacağını unutmamak lâzımdır.

Gelişme masraflarının ancak çok küçük bir kısmı bu masrafların içindedir. (Şekil 21) deki üst eğri Amerikan rayiçlerine göre özel kuruluş masraflarını göstermektedir. Meselâ, 2000 DM/KW özel masrafı 10 megavatlık bir tesis gücüne karşılıktır. Buna karşılık 200 MW. İlk bir kuruluşta özel masraf 900 DM/KW dır.

Ortadaki eğri ise, Almanya'da tesisi düşünülen santralların Alman rayiçlerine göre özel tesis mas-



(Şekil: 21)

Kuvvet santrali Megavat elektrik gücü anahtar teslimi işler vaziyetteki atom kuvvet santrallerinin 1955 rai/içlerine göre özel tesis masrafları

raflarını göstermektedir. Almanya' da bu tesis masraflarının ilk atom kuvvet santrali için azaltılmasına pek imkân olmayacaktır.

En alttaki eğri ise, Almanya'da mevcut kömürle işleyen kuvvet santrallerinin özel kuruluş masraflarını göstermektedir. Yukarıdaki iki eğri atom enerjisine ait olup, bunlara göre 200 MW. güçten sonra bir masraf düşmesi pek imkansız görülmektedir. Zira, adı geçen eğride bu güçten sonra özel masrafın KW. başına sabit kaldığı görülmektedir. Fakat, gerçekte bu eğriler böyle olmayacaktır.

Fakat, klasik kuvvet santralleri yapısında elde edilen gelişmeler dolayısıyla, özel masraf eğrileri derece derece inmekte, yani özel masraf azalmaktadır.' Bunu şöyle söyleyebiliriz. Atom kuvvet santrallerinin durumu şimdiki klasik kuvvet santrallerinin 50 yıl önceki durumudur.

Amerikalı enerji ekonomisti Philip Spron'a göre, gelecekte 700 ilâ 1000 MW. elektrik gücündeki reaktör üniteleri kurulabilecektir. Bu iddia hiçbir zaman bir hayal değildir. Görülüyor M bu alanda güç bakımından geniş ufuklar açılmıştır. Böyle büyük bir gücün bir noktada toplanması sununla açıklanabilir. Bazı atom kuvvet santralleri yapı tarzlarında litre hacim başına 0,5 MW termik (0,5 MW th/litre) güç düşmektedir.

Atom kuvvet santrallerinin çeşitli kısımlarına düşen tahmini kuruluş masrafları % de olarak aşağıda verilmiştir. Bu sayılar oldukça kaba sonuçlar-

dır. Çünkü reaktörün yapı cinsine göre bu değerler de değişmektedir.

Tesis kısımları	Masraf % de olarak
1 — Yapı kısımları	18
2 — Reaktör	18
3 — Isı değiştirici	9
4 — Boru hatları	16
5 — Ayar ve kumanda tertibatı	7
6 — Türbo — generatör ve elektroteknik kısım	32
T O P L A M :	100

Bu masraf yüzdeleri içinde yakıt yoktur. Meselâ kazan tipi kaynar su reaktörlerinde, ısı değiştirici ayar tekniği sebeplerile, büyük tesislerdeki reaktörler çift devreli olarak kurulur. Türbinler iki basınç kademesine' göre inşa edilir. Atom kuvvet santrallerinde kaba olarak tesis masrafının % 60'ı buhar elde edilmesine, % 40'ı da tesisin diğer kısımlarına harcanır.

Büyük tesislerde Genel olarak, son tekniğin ilerlemiş duruma göre tesisin çeşitli standard teçhizatını ucuza maletmeye imkân yoktur. Masraf azaltması ancak, reaktör ve onun yardımcı kısımları için sağlanabilecektir.

Atom tekniğindeki bugünkü gelişmeye göre ise, elektrik akımı üretme masrafı hakkında söz söylemek daha güçtür. Bunun hakkında verilen değerler

birbirinden çok ayrılmaktadır. Hatta uzmanların verdikleri bilgiler dahi birbirine uymamaktadır. Bazı gazetelerde, gelecekte atom elektrik akımının kilovat saat başına 3,5 fenik (12 kuruş) ve diğer bazılarında KWh. fiyatının 20 fenik (67 kuruş) olacağı iddia edilmektedir. Bu ayrılıkların sebebi nedir?

Birinci sebep, atom kuvvet santralleri ömrünün birbirinden çok farklı tahmin edilmesi,

İkinci sebep, böyle tesislerin yıllık işletme sürelerindeki güvensizlik,

Üçüncü sebep, parçalanabilir yakıt maddesinin MW — gün/ton hakkındaki bilgilerin azlığı;

Dördüncü sebep de, kullanılmış parçalanabilir maddelerin tekrar hazırlanmasına ait masraflar hakkındaki bilginin noksanlığıdır.

Bunlardan başka şunu da ekleyebiliriz. Sıcak Uranyum maddelerinin taşıma masrafları hakkında da bir fikrimiz yoktur. Bütün bunlardan başka, bütün dünyada hiçbir kimse atom tesislerinde çalışan insanların ve atom tesislerinin sigorta primlerinin ne kadar olacağını bilmemektedir. Bu fikirler yalnız yazarın fikri değil, aynı zamanda tarafsız Amerikan uzmanların ve firma temsilcilerinin de fikirleridir.

Müstehlike (satın alıcıya) satılan elektriğin maliyet bedelinin % 75'i elektriğin hava hatlarıyla iletme masraflarından meydana geldiği bilinmektedir. Elektrik enerjisinin Nükleer kaynaklardan elde edilmesi halinde, elektrik fiatı üzerinde ciddi bir değişiklik yapılamayacaktır

Nükleer enerjinin kullanılması ancak ve sadece fosil yakıt kaynaklarının tükenmesine engel olacaktır.

Mevcut enerji santrallerinin % 25'i üzerinde hiçbir değişiklik yapılamayacağını esas alınması halinde bile, elde edilen elektriğin KWh. başına düşen yakıt fiyatının kömür veya U 235 kullanılması halinde birbirinin aynı olduğu görülür. Nükleer yakıt kullanılması halinde gerek konversiyon ve gerekse otogenerasyon bulunmadığı ve fertil maddelerin fışıl halinde getirilmediği şartına göre de sonuç böyledir. Eğer reaktörlerin en az bir konversiyon faktörü varsa, Nükleer yakıt fiyatının (Kimyevi temizleme, metalurjik ameliye ve gömlekleme içinde olmak üzere) kimyevi yakıt fiatından çok ucuz olacağı görülür. Kömüre göre uranyum için kVh. başına taşıma fiatı çok daha az bulunmaktadır. Konversiyon faktörü sıfır olan bir reaktörde, meselâ, günlük takati her bir ton uranyum için 3000 megavat olan bir santralde aynı takat için 10.000 ton kömür harcanması gerekir. Bu durumda gerekli Uranyum taşımak için hiçbir özel tedbire ihtiyaç görülmemektedir.

Zira, tabii Radyoaktivite miktarı insanlara zarar vermeyecek tolerans dahilinde bulunmaktadır. Bu-

na karşılık aynı takat için gerekli 10.000 defa daha büyük ağırlıktaki kömürün taşınması özel tedbirleri gerektirmektedir. Bununla birlikte, diğer taraftan nükleer santrallerin aleyhindeki aşağıdaki noktalar üzerinde durmak lüzumludur.

a) Teknolojinin şimdiki durumunda, nükleer santraller tesbit edilen faydalı zamanı elde edememektedirler. Bu santrallerin termodinamik randımanlarının, yakın veya uzak gelecekte sıvı metaller teknolojisinde bulunacak yeni maddeler sayesinde; Halen pratikte kullanılan termik santrallerdeki fazla sıcaklık faktörü ile (taux de surchauffe) karşılaştırmaya imkân verecek şekilde, sıcak kaynak ısısının yeter derecede artırılmasıyla nükleer santrallerin termodinamik verimlerinin de artması imkân dahiline girecektir.

b) Nükleer santrallerde kullanılan yapı maddeleri halen pratikte kullanılan termik santrallerdeki eşdeğer evsaftaki maddelerden çok daha pahalıdır. Bununla beraber, az veya hiç bulunmaması gerekli bazı madde parçalarını kısıtlamak gereğiyle, bu işlemin metalurjik bakımdan çok güç olması meselâ Zirkonyum veya Beliryum gibi maddelerin işlenmesi güçlükler arasındadır.

c) Reaktörde belli miktarda yakıt bulunmasından sonra, zincirleme reaksiyon meydana gelmektedir. Otogeneratif daki yakıt sarfiyatından hissedilir derecede daha çoktur. Yatırım sermayesinin faizinden dolayı kilovat saat fiyatının bu sebeple arttığı açıkça görülür.

d) Radyoaktif artıkların varlığı ve fisyon ürünlerinin yakıt içinde birikmesi sonucunda, reaktörün zehirlenmesini önlemek bakımından, bu artık maddelerin reaktörden dışarı atılması gerekmektedir.

Bu ürünlerin dışarı atılması enerji bakımından çok büyük kayıplar meydana getirdiği gibi, ayrıca bu ürünlerin yeniden arıtma ve metalurjik muameleye tabi tutulması ve yeniden gömlekleme de büyük masrafı gerektirmektedir.

Halihazır teknolojiye, bu işlem bir çok defa (belki yüz defa) yapılarak tam aşınmadan önce bütün enerji imkânları aranmaktadır. Bu husustaki gelişmelerin gidişinden, ileride daha iyi imkânların bulunacağı kuvvetle ümit edilmektedir.

e) Fisyon mahsüllerinin yokedilme meselesi işin en önemli tarafını teşkil etmektedir. Bu mesele ayrıca bir takım (çok uzmanlı personele lüzum göstermesi ve operatör personeli sıhhatinin çok ciddi olarak kontrolden geçirilmesi bakımından) güçlükler gösterir.

Bütün bu sayılan hususlar gözönünde tutulduğu takdirde, bir kömür santrali ile bir nükleer santral arasında pek az fark bulunduğu görülür.

Bir nükleer santralda reaksiyondan meydana gelen ısı ile dönen mekanik organlar arasında su buharı bir orta (aracı) element olarak durumunu muhafaza etmekte ve elektroteknik bütün aletler pratik bakımdan değişmemektedir.

Çeşitli enerji tesislerinin analizlerinde aşağıdaki ekonomik sonuçlar ortaya konabilir : daha etrafli bilgi bölüm (12) de verilmiştir.

31°) Kömür santralına göre sabit masraflar, nükleer santralda 2 ilâ 4 kat daha yüksektir.

32°) Bir nükleer santralda yakıt masrafları tesis edilen takada bağlı olarak (bir kömür santralına göre daha büyük hızla) kilovat saat maliyet fiyatı hızla azalmakta ve kömüre nazaran yakıt masrafları % 100 daha az bulunmaktadır.

33°) Kullanma faktörü (yük veya tesis faktörü, Load Factor or plant factor) yani, yılda elde edilen kWh/8760 KAV. olarak elektrik kapasitesi yüksek olan çok büyük bir işletme santralında (Centrale de base) eğer konversiyon faktörü 1'e yakın ise, kömür santralı ile nükleer santrallar arasında kilovat saat maliyet fiyatları bakımından pratik olarak hiçbir fark bulunmamaktadır.

34°) Halen yapılmakta olan pilot santrallar için kWh. fiyatı reaktörün tipine ve çeşitli memle-

ketlere göre (fısil mahsulü maddeler hesaba katılmaksızın) 2 ilâ 8 kat daha fazladır.

Tablo (B) de, nükleer santralların sadece teknik bakımdan özellikleri verilmektedir. Tesislerin gerçek maliyetleri bakımından verilen rakamları tam olarak bilmeye imkân yoktur. kWh. fiyatları bazı durumlarda gerçek miktarı, bazı halde de mükemmel bir teknoloji için asemptotik bir değeri göstermektedir.

Birleşik Amerikada yapılmış 100 MW. İlk bir kömür santralının yatırım maliyeti 15 milyon dolar bulunmaktadır. Birleşik Amerika'da kWh. fiyatı 3 ilâ 7 mil (bir mil doların binde biridir) arasında değişir.

Az gelişmiş memleketlerde, aynı tip enerji santralları elde edilen kWh fiyatı 35 mil'e kadar yükselir. Buna karşılık şimdiye kadar kurulmuş nükleer enerji santralları bazıları için elde edilen elektrik enerjisinin kWh fiyatı mil olarak aşağıda (B) tablosunda gösterilmiştir. (Bir mil aşağı yukarı 1 kuruşa eş değerdedir) elektriğin kilovat - saat fiyatının hesabında nükleer tesislerin yılda ortalama olarak 7000 saat çalıştırıldığı ve tesislerin amortisman müddetlerinin (10) yıl olduğu hesaba katılmıştır.

Amerika'da 1956 da kurulan 100 MW. lık bir atom santralının özellikleri:

Tesisin elektrik gücü	:	100 MW.
Yıllık işletme süresi	:	250/KW
Yıllık işletme süresi	:	7000 saat/yıl
Yıllık enerji üretimi	:	700 GWh/yıl
Tabii uranyum fiyatı	:	42,5 dolar/Kg
U 235'in fiyatı (% 90 zenginleştirilmiş)	:	21 dolar/gram

A — Sabit yıllık giderler :

1 — Yatırılan sermaye giderleri	:	40 dolar/KW.
2 — Parçalanabilir maddenin sermaye giderleri	:	8,25 dolar/KW.
3 — Personel giderleri	:	3 dolar/KW.
4 — Bakım, işletme araçları ve çeşitli giderler	:	6,25 dolar/KW.
Toplam: sabit giderler	:	57,5 dolar/KW.

B — Enerji elde etme giderleri :

1 — Parçalanabilir madde giderlerinin kısımları:		
— yakıt çubuklarının yapımı için	0,003	dolar/kWh.
— Artık maddelerden (Pu) elde etmek için	0,001	dolar/kWh.
— Yakıt çubuklarının yeniden hazırlanması	0,0035	dolar/kWh.
Yakıt maddesi toplamı	:	0,00750 dolar/kWh.
2 — Sabit yıllık giderlerin	:	0,00825 dolar/kWh.
Enerji elde etme giderleri toplamı	:	0,01575 dolar/kWh.

Yukarıdaki tabloda (A) maddesinde sabit yıllık giderler toplanmıştır. Tesise ait sermaye giderleri yanında yakıt maddelerinin sermaye miktarı da göz önünde tutulmalıdır. Tesisin sermaye giderleri şu esaslar dahilinde tesbit edilir :

temin edilmeli ve bu ihtiyat güç, elden geldiği kadar küçük tutulmalıdır.

Atom enerji tesisinin yerinin seçilmesinde enerji harcama merkezlerinin yakınlığının önemli ro-

Nükleer santralin kurulu bulunduğu memleket	Santralin işareti	Santralin elektrik gücü MW	Tesis maliyeti (milyon dolar)	Elektriğin fiyatı 1 mill = 1/1000 dolar	
				Mill/kWh	kuruş/kwh (İŞ/= 1000 kuruş)
Shippingport	PWK	60	70	50	50
Belçika	Heysel (Pilot santral)	11,5	6	30	30
Arco — İdaho (U. S. A.)	Borax	3,5	0,55	30	u- 30
(U. S. A.) Etüd halinde	SGRI	75	22,5	11	w 11
Arco — İdaho (U. S. A.)	EBWR	4,5	17	aynı güçlü kömür santralının iki katı	Aynı güçlü kömür santrali fiyatının iki misli
Arco — İdaho (U. S. A.)	EBR n	15	40	8,5	8,5

— Reaktör ve teferruatı 10 yıllık bir amortisman müddetine tabi tutulmuştur.

— Bilinen tesis parçalarının amortisman müddeti ise 15 yıl olarak kabul edilmiştir. Okuyucu kendiliğinden bir yıllık sabit giderlerin çok yüksek ve kömürle işleyen kuvvet santrali giderlerine göre üç kat yüksek olduğunu görecektir. Bu gerçek yıllık işletme süresi kısa olan atom kuvvet santrallerinin kuruluşunu imkânsız kılmaktadır. Atom kuvvet santralleri ancak teknik olarak işletme süresi daha yüksek dereceye çıkarılırsa, o zaman diğer çeşitli santrallerle kıyaslanabilir.

Tabiiyle, bu durumda yüksek güçlü enterkonnekte şebekelerin bulunması ve diğer bir santralin puvant yükünü üzerine alması lazımdır.

Atom enerjisinin ekonomik olarak kullanılmasında enterkonnekte şebekenin başka bakımlardan da büyük bir önemi vardır :

Atom kuvvet santrallerinde ihtiyat güçleri temini çok pahalıdır. Çünkü yıllık sabit masraflar çok yüksektir. Bu bakımdan gerekli ihtiyat güç enterkonnekte bir işletme ile diğer klasik santrallerden

lu vardır. Bunun anlamı enterkonnekte bir şebeke lüzum yoktur demek değildir.

1000 KW, güçlü büyük bir reaktöre ihtiyaç gösteren enerji harcama merkezi ne olabilir? Ekonomik puvant enerjisini temin için enterkonnekte şebekesiz bir pompajlı su biriktirme tesisini nasıl kurabiliriz?

Yakıt maddeleri masrafları ne kadar azalır, atom enerjisinde pompajlı su biriktirmesi o kadar istekle karşılanacaktır? Bu soruları cevaplandırarak, atom enerjisinin ekonomik bakımdan kullanılmasında, enterkonnekte şebekenin önemi böylece belirtildikten sonra, şimdi de yakıt maddesi fiyatlarına geçelim:

Burada derhal göze çarpan husus, yakıt maddesi masraflarının (yanı yanma masraflarının) çok az oluşudur. Buna karşılık yakıt maddesinin çubuk haline getirilmesi ve kullanılmış çubukların tekrar işler hale konulması masrafları yüksektir.

Kullanılmış çubukların yenilenmesine ait masraflar, bazı bilinmeyen konularla doludur. Çünkü radyoaktif maddelerin kimyevi hazırlanmalarındaki fiyat analizleri bilinmemektedir.

Şimdiye kadar bu alanda çok az sonuç elde edilmiştir. Tahmini olarak yapılan hesablara göre, enerji üretme masrafı aşağı yukarı 0,01625 dolar/kWh kadardır. Uranyum ve tekrar kullanılan çubukların hazırlama masrafları sabit kaldığı takdirde, bu enerji fiati 1960 yılında yapılmış tesislerin maliyetlerine uygundur.

Yukarıdaki tabloda verilen değerlere bakıldığı zaman, atom enerjisi esasına göre enerji üretme masraflarının düşürülmesinde manivelanın nereye sokulacağını görmek mümkündür.

Bazı Amerikan uzmanları daha optimist düşünüyorlar. Onlara göre 1963 yılında atom enerjisi takriben 0,009 dolar/kWh olacaktır. Belki de onların optimist olmalarının sebebi, gerekli değerleri daha iyi bilmeleridir.

Bu verilen değerlerin doğruluk derecesi sayılı olmakla beraber, bunlar bize objektif olarak enerji ekonomisinin mevcut masraf bünyesinin, yakın gelecekte önemli şekilde değişmeyeceğini göstermektedir.

4*) Atom Enerjisinin gelecekteki imkânları :

1958'de Cenevre'de toplanan atom enerjisi konferansının birinci günü, enerji ihtiyacının dünyadaki gelişimine ayrılmıştır. Bu bir tesadüf eseri değildir. Enerji ihtiyacının devamlı olarak karşılanması uzun bir planlamaya ihtiyaç gösterir. Bütün ham enerji kaynaklarının imkânları ve sınırları iyi tahmin edilmelidir. Tabiiyle yeni bulunmuş bir enerji kaynağı olan atom enerjisinin de bu ham enerji kaynakları gelecekteki imkânları çok iyi incelenmeli, bu hususda tehlikeli ve yanlış kararlara da varılmamalıdır.

Fisil yakıt ve su kuvvetlerinden karşılanan dünya enerji ihtiyarı 1953 yılında aşağı yukarı 3 milyar ton kömür ünitesine eş değerde bulunmakta idi. Bu değer kuvvet ve ısı olarak bütün yıllık ihtiyaca karşılıktır.

Ham enerji ihtiyacının yıllık artışı % 2 olarak hesaplanmaktadır. 1980 yılında enerji ihtiyarı yaklaşık olarak 5 milyar ton taş kömürüne ve 2000 yılında 8 ilâ 9 milyar ton taş kömürüne varacaktır.

En önemli ham enerji kaynağı kömür, petrol ve yer gazı (Tabii gaz) dır. Zira, çok gelişmiş endüstrisi bulunan memleketlerde su kuvvetlerinin katılma oranı sürekli olarak azalmaktadır. Gelecek 30 yıl içinde, dünya enerji ihtiyacının karşılanması için yukarıda adı geçen ham enerji kaynaklarının iki kat arttırılması gerekmektedir. Fakat şimdiye kadar harcamadaki gelişme, bu ham enerji kaynaklarının bu ihtiyacı karşılayamayacağını göstermektedir.

Bazı enerji ekonomistleri ise daha da ileri giderek 1975 de- büyük bir enerji elde etme krizi

olacağından da söz etmektedirler. Bu bakımdan, mevcut ham enerji kaynakları bir problem teşkil etmektedir. Bu problemin de bir nesil (kuşak) içinde çözülmesi gerekir.

Bu görüş karşısında atom enerjisi büyük ve artan bir önem taşımaktadır. Atom enerjisinin ekonomik kullanma imkânları hakkında genel cevablar verilemez. Zira, mesele memlekette memlekete ve hatta memleket içinde bile değişiklikler göstermektedir. Burada asıl rolü oynayan enerji istihsal masraflarının yapısı ve ham enerji elde etme yeridir. Bu bakımdan her memlekette atom enerjisinin ekonomik kullanma imkânları ayrı ayrı sonuçlar vermektedir. Mesela, Amerikalı K.M. Maier Cenevre toplantısında Amerika için şu sonuçları çıkarmıştır. Şayet 1975 de atom enerjisinden elde edilen akımın kilovat için 7 mil (0,007 dolar) ise veya aşağı yukarı kilovat saat 7,5 mil (0,0075 dolar) olursa ve atom enerji santrallerini de diğer kuvvet santralleriyle rekabet edecek derecede kurabilirlerse, Amerika'da 1975 de bütün ihtiyacın % 6'sını ancak atom enerjisinden elde edebilir. Buna karşılık enerji üretme fiati 6 mile (0,006 dolar) düşerse, atom enerjisinin kullanma imkânları iki misli artacaktır. Bu örnek bize iki şey öğretmektedir.

1. Amerika'da Atom enerjisini kullanma imkânları çok azdır. Zira diğer ham enerji kaynağı fiyatları çok düşüktür. (Kilovat saat ortalama fiyatı 0,006 dolar)

2. Diğer taraftan bu örnek atom enerjisinin ekonomik imkânlarının güvenilir bir şekilde tahmin edilmesinin de güç olduğunu göstermiştir. Zira, Atom enerjisi elde etme masraflarının bugün kesin olarak bilinmesine imkan yoktur. Kurulacak tesisin büyüklüğü bu fiyatlarla ilgilidir.

Amerika, mevcut ham yakıt maddelerini göz önünde tutarak atom enerjisinin gelişmesini beklemekte haklıdır. Bu maksatla Amerika çok büyük dikkatle uzun süreli atom enerjisi araştırmalarına girişmiştir. Devletçe finanse edilen bu programda 5 deneme atom kuvvet santralını (100 MW. lik) 1960 da bitirmiştir.

Bu araştırmaların yapım ve gelişme masrafları aşağı yukarı 270 milyon dolardır. Yatırılan sermayeyi elde edilen takata bölmek suretiyle özel kuruluş masrafını bulmakta bir fayda yoktur. Çünkü yatırılan 270 milyonun büyük bir kısmı araştırma masraflarına karşılıktır.

Bu 100 MW lik santraller yanında 1000 MW lik santraller de planlanmıştır. Bunlarda 1961 yılında işletmeye girmişlerdir.

Bu yeni teşebbüs tamamen özel sermaye teşebbüsü olup 200 ila 300 milyon dolarlık bir yatırım gerektirmiştir.

İngiltere'nin enerji ekonomisi durumu ise tamamen başkadır. Bunu İngiliz hükümetinin 1955 şubat tarihli atom enerji programı göstermektedir. İngiliz hükümetinin bu alandaki politikası kömür elde etme yükünü azaltacak diğer enerji kaynaklarına baş vurmadır. Mümkün olan en kısa zamanda atom enerjisinden ve petrolden derhal faydalanmaktadır.

İngiltere'deki güç tutarı 1955 de 20.000 MW idi. 1975 de bunun 60,000 MW olacağı sanılmaktadır. Atom kuvvet santrali olmadan 1975 de İngiliz elektrik ekonomisinde kullanılan kömür miktarı şimdikininkin 2 ilâ 2,5 misli daha artacaktır. İngiliz hükümetinin enerji programında, atom enerjisinden kısa bir zamanda faydalanılacağı ve maden sanayinin yükünün hafifletileceği ümit edilmektedir.

İngiltere'de en önemli problem katı yakıt olarak kullanılan kömürün diğer maksatlar için sak-

lanmasıdır. İngiliz atom enerjisi programı 1965'e kadar 1500 ilâ 2000 MW. lik atom kuvvet santralleri kurulmasını tasarlamakta ve 1975 de ise 10,000 ilâ 15,000 MW. lik bir takata çıkılması düşünülmektedir. Görülüyor ki, 1975 de İngiliz enerji ekonomisinin % 20 ilâ % 25'i atom kuvvetine dayanacaktır. Her ne kadar atom enerjisiyle ihtiyacın % 40'ı karşılanabilir ise de, bu takdirde yeni ekonomik meseleler ortaya çıkmaktadır.

Ham madde kaynağı bol olan Amerika'da uzun süreli bir gelişmeden sonra atom enerjisi bu alanda bir fayda sağlayacaktır. İngiltere, Avrupa'nın en büyük kömür istihsalcısı bulunmakta ise de, en kısa zamanda kömürün yerini atom enerjisinin almasını istemektedir. İngilizler kurulacak reaktörlerin cinsi üzerinde bilhassa durmaktadır. İngilizler en büyük dikkati grafitli ya da grafitli ve gazla soğutulan reaktörlere çevirmişlerdir. Bunun yanında da (Pu) elde edilmekte ise de, bunun pek bir önemi yoktur.

TABLO (A)

Bir ton Endüstri ürünü için harcanan kilovat saat enerji Miktarı :

Endüstri Ürünü	kWh.	Bulunduğu Memleket
Asit asetik	465	B. Amerika
Amonyak	1655	>
Amonyak	1620 — 2880	Batı Almanya
Amonyum sülfat (Elektrolitik)	3652	Japonya
Suni ipek	4400 — 5900	Batı Almanya
Otomobil (Her biri için)	1050	B. Amerika
Benzol	90 — 215	Batı Almanya
Tuğla makinesi (1000 adet)	10 — 40	B. Amerika
Asit borik	56	>
Kalsiyum karbit	3750	>
Karbit (CaC ₂)	3440	>
Sudkostik	3816	Japonya
Portland çimentosu	110	B. Amerika
Çimento	136	>
Emaye işleri	1500 — 4800	Batı Almanya
Nitrik Asit	415	B. Amerika
Naylon	2785 — 9454	Japonya
Kağıt (ambalaj)	522	B. Amerika
> (yaz için)	838	»
Fosforik asit	120 — 4145	»
Suni ipek (rayon)	5780	B. Amerika
Suni Kauçuk (Buna)	40000	Batı Almanya
Tabii kauçuktan lastik	3650 — 3850	>
Ayakkabı (1000 çift için)	472	B. Amerika
Silicon bikarbide	9370	>
Sodyum bikarbonat	485	>
Sodyum klorat	5780	>
Çelik (İngot elektrik usulü)	815	Japonya
Çelik (Elektrik)	720	B. Amerika
Sülfürik asit	35	>
Vinyon		
Vinyl asetat	921	Japonya
Asetat	1552	>

Endüstri Ürünü	kWh.	Bulunduğu Memleket
Poly — Vinyl alkol	2136	»
Alkol	30	Batı Almanya
Tereyağı	136	B. Amerika
Çopra yağı	118	Seylan
Pamuk (Balyalanmış)	100	Suriye
Pirinç	15 — 18	Baü Almanya
Kereste	423	B. Amerika
Kauçuk	441	Seylan
Tabii Kauçuk	1000	B. Almanya
Şeker (Beet — raw)	72	Suriye
» (Beet — refining)		»
>	170	B. Amerika
> (Cane — raw)	243	>
Çay (Power and light)	441	Seylan
» (Withering)	1543	»
» (Firing)	1984	>

12. Atom Enerjisinin Maliyet faktörleri :

Nükleer enerji üretiminde, mevcut fiziki olayların yeteri kadar tanınmamış olması (Nükleer yakıt çevresi ve yanma olayı gibi), yakıtın elde edilmesi, yeniden hazırlanma ve işlenmeye ait mal oluş giderlerinin tamamıyla bilinmemesi sebebiyle, atom enerjisi maliyet faktörleri tamamen bilinmemektedir. Bugünkü tatbikata göre: maliyet faktörleri üç grupta toplanmakta, bu üç grupta ayrıca üçer gruba ayrılmaktadır.

I) Sabit giderler (Sermaye giderleri, Yakıt için faiz kaybı, İşletme giderleri),

n) Brüt yakıt giderleri (Uranyum fiatı, fabrikasyon giderleri, taşıma giderleri),

İÜ) Geri verilen yanıcı maddeler için kredi (Uranyum tortu değeri, Plütonyumun değeri, tekrar hazırlama giderleri) ,

Bir atom santralının maliyet fiatı, bir buhar santralındaki duruma benzer. Bu santrallarda yalnız ısı elde etme tesisleri maliyeti ile yakıt maliyeti farklı olup, diğer tesisler aynıdır.

Amerika'da tesis maliyetinin yüksekliğine bakılmayarak, daha ziyade :

- Tesisin fazla ömürlü olması,
- İşletme maliyetinin düşük olması,
- Net yakıt maliyetinin düşük bulunması (depolama, değiştirme için yakıt taşıma maliyeti, döküntüler için daha uygun fiat.) olması üzerinde, durulmaktadır. Yapı masrafları Amerika'da Avrupadakinden daha pahalıdır.

l) Sabit giderler :

a) Sermaye giderleri şu formülle hesaplanır :

Spesifik tesis maliyeti x Sermaye hizmeti

Yıllık kullanma süresi

Bu formülde üç terim vardır:

1*) Spesifik tesis maliyeti, generatördeki ve-

ya transformatörün gerilim uçlarındaki güce göre hesaplanır.

Tesis maliyeti denilince bütün yardımcı fiatlar (yapı işleri, laboratuvar, oturma yerleri, arazının açılması, yol yapılması, bağlantı hattı ve soğutma suyunun elde edilmesi fiatları) gözönünde tutulur. Ayrıca yapım zamanında ödenecek faizler de bu maliyete dahil edildiği halde, önceden bilinmeyen bazı masraflardan dolayı net maliyet kilovat başına dolar veya TL. olarak \$/KW veya TL/KW şeklinde ifade edilir.

150 MW. lik atom ve kömür santrallerinde spesifik maliyet değerleri ortalama olarak şöyledir :

— İngiltere'de Calder — Hail atom santralında : 450 \$/KW

— Reaktördeki çekirdek dışı kısımlar Almanya'da, reaktör çekirdeği Amerika'da yapılmış atom santralında ise : 285 \$/KW

— Bir kömür santralında: 150 \$/KW, bulunmaktadır.

2*) Sermaye giderlerinden ikincisi sermaye hizmetidir. Bu giderlere; faizler, amortismanlar, alışılmış nükleer sigortalar, vergiler, genel yönetim giderleri dahildir. Bu miktarların toplamı için atom santrallerinde, tesis maliyetinin % 13'i alınmaktadır. Burada amortisman süresi 15 yıl ve faiz sınırı % 5,5 kabul edilmiştir. Kömür santrallerinde, nükleer sigortanın olmamasından dolayı toplam miktar % 12,4 bulunmaktadır.

3*) Sermaye giderlerinden üçüncüsü faydalanma süresidir. Bu sürenin atom santrallerinde çok yüksek olması lâzımdır. Linyit ve Su kuvveti santrallerinde kullanma faktörü % 40 ilâ % 50 atom santrallerinde ise ortalama kullanma faktörü % 70 kadardır. Buna göre yıllık kullanma sü-

resi 0,7 X 8760 = 6142 veya yuvarlak olarak 6000 saat alınır. Ekonomik oluş sırasına göre iş-letmeye konulacak santraller şunlardır:

Önce hidrolik santraller; daha sonra sırasıyla, linyit santralleri, uranyum santraller, taşkömürü santraller ve en sonra akar yakıt santralleri gelmektedir.

4°) Sabit giderlerden dördüncüsü faiz kaybıdır. Reaktörde kullanılacak yakıtların daha önce satın alınması icap etmektedir. Reaktörden yakıtın çıkarılarak yeniden hazırlanması da daha önceden yapıdır.

Bu ölü zaman süresi içinde reaktörün dışında faiz kaybı meydana gelir. Bu miktarın değeri kilovat — saat başına 1 kuruş mertebesindedir.

5°) Sabit giderlerden beşincisi, işletme giderleridir. Bu giderlerin tutarı, tesis maliyetinin % 4'i kadardır.

Yukarıda belirtilen sabit giderleri özetlersek:
a) İngiltere'deki Calder — Hail atom santralında enerji bedeli $13,5 \times 10^{-3}$ dolar veya 18,6 kuruş/kWh,

b) Çekirdek kısımları Almanya'da, çekirdeği Amerika'da yapılmış bir atom santralında sabit giderlerin miktarı kilovat saat başına 9×10^{-8} dolar veya 12,2 kuruş,

c) Bütün teçhizatı Amerika'da yapılmış bir atom santralı için aynı miktarlar, kilovat saat başına $11,7 \times 10^{-3}$ dolar veya 15,8 kuruş,

d) Kömürle çalışan santrallerde sabit giderler kilovat saat başına $4,1 \times 10^{-5}$ dolar veya 5,5 kuruş bulunur.

II) Brüt Yakıt Giderleri:

1°) Uranyum giderleri, zenginleşme derecesiyle lineer olarak artmaktadır. % 3 zenginleştirilmiş uranyum, tabii uranyumdan 10 kat daha pahalıdır. Tabii uranyumun kilogram fiati Amerikan kaynaklarına göre 20 dolar kadar olup, reaktörden çıkarılan uranyumun yeniden hazırlama masrafı beher kilogram için takriben 20 dolar olduğundan, beher kilogram tabii uranyum yakıtının fiati $20 + 20 = 40$ \$/kg kabul edilmektedir. Buna göre, tabii uranyumun her % 1 kadar zenginleştirilmesi halinde fiati, tabii uranyumun 40 dolar/kg değerinin 3,7 katı kadar yani kilogram basma 150 dolar kadar artar.

2°) Fabrikasyon giderleri: Tabii uranyum için, beher kilogram başına fabrikasyon giderleri 17 ilâ 20 dolar kadardır.

Zonguldak taş kömürünün (Zerodiz 0 — 10) alt ısı derecesi 6140 kcal/kg olup, Avrupa'da ton başına fiati 13,5 dolar kadardır. Memleketimiz için

bu fiat 11,2 \$/ton; Amerika'da aynı kömür fiati 7 \$/ton kadardır.

3°) Yakıtın Taşıma giderleri :

Uranyum yakıtı kurşun kaplar içinde muhafaza edilerek nakledilir. Uranyumun özgül ağırlığı 19 gram/cm³ olup, uranyum kurşun kapının ağırlığı, taşınan yakıt elemanından 10 ilâ 40 kat fazladır. Ayrıca, ağır kurşun kap boş olarak yeniden santrale gönderilmek mecburiyetindedir. Gidiş ve geliş giderleri (Navlun ve sigorta) beher kg. uranyum için Amerika'da 18 dolar, İngiltere'de 7 dolar kadardır

III) Yanıcı maddeler için kredi:

Reaktörde kullanıldıktan sonra geri gönderilen yakıt elemanı için verilen kredi üç kısımdan teşekkül eder:

1°) Kullanılan uranyum içindeki tortuyu çıkarıp, % 1'i bile kullanılmamış uranyumu yeniden kullanılabilir hale getirip hazırlamak yoluna gidilir. Yalnız U 235 itibarıyla uranyum fakirleşir. Bu suretle değeri de yukarıda verilen zenginlik nisbetlerine göre düşer.

2°) Reaktördeki Uranyum 238'den bir miktar Plütonyum meydana gelir. Uranyum 238'in beher gramı 12 dolar kadardır. Bu değer bugün için böyle olmakla beraber, yarın ne olacağı belli değildir.

İngiliz tipi reaktörlerde, beher kilogram uranyum 238 için 1,5 gram kadar Plütonyum; Amerikan tipi reaktörlerde, beher kilo gram 238 için 3 gram kadar Plütonyum elde edilir.

3°) Yakıt elemanının yeniden hazırlanması : Uranyum ve Plütonyumdan elde edilen kazançlar, yakıt elemanının yeniden hazırlanması için gereken giderleri karşılar.

Amerikan atom komisyonu yeniden hazırlama masrafı için beher kilogram Uranyum miktarına 20 dolar kadar istemektedir. Ancak bu değer, 15 kadar atom santralının (herbiri 150 megavat güçte) tesislerini çalıştırmak için kurulu özel bir tesis olmasına göre hesaplanmaktadır.

Gerçek hazırlama değeri için kilogram uranyum başına 30 dolar almak realitelere daha uygun düşer. Buna göre gerekli kredinin göz önünde tutulmasıyla, net yakıt giderleri:

a) İngiliz tipi atom santrallerinde bir kg. tabii uranyum fiati 50 dolar veya 675 TL.

b) Çekirdek dışı kısımları Almanya'da ve diğer kısımları Amerika'da inşa edilmiş bir atom santralında % 2,5 orantısında zenginleştirilmiş yakıt için kg. fiati 214 dolar veya 2889 TL.

c) Zonguldak'daki taş kömür santralında bir kg. kömürün yakıt değeri 0,0112 dolar veya 0,15 TL.

d) Kırıkkale'deki taş kömür santralında bir kg. kömürün yakıt değeri 0,015 dolar veya 0,20 TL.

IV) Elektrik Enerjisinin fiati :

Beher kg. uranyumun santralda yakıt olarak fiatinin bulunmasıyla beher kWh enerji fiatini hesaplamak mümkündür. Ancak, beher kg. tabii uranyumdan veya zenginleştirilmiş uranyumdan ne miktar elektrik enerjisinin elde edileceğini bilmek lâzımdır. Burada iki faktörün bilinmesine lüzum vardır: Verim x Yanma,

Verim miktarı, kullanma faktörüne bağlıdır. İngiliz tipi santrallarda ortalama verim % 25, Amerikan tipi santrallarda ise % 26'dır.

İkinci faktör yanma'dır. Yani beher kg. veya ton yakıttan üretilen ısı miktarıdır. Nükleer yakıtlar için ısı çevresi bugün tam olarak çözülmüş değildir. Bunun üzerinde büyük çalışmalar yapılmaktadır. Her ne kadar satıcılar tarafından bu ısı miktarı garanti edilmekte ise de burada garanti sözü genel anlamda kullanılmaktadır.

İngiliz tipi atom santrallerinde, yakıt elemanı olarak tabii uranyum kullanılmaktadır. Bunun yanma miktarı 3000 MWg/ton olarak garanti edilmektedir. Burada 1MWg (bir-mega vat gün) lük enerji miktarı 24.000 kWh (kilovat saat)'a eşdeğerdir.

Hesaplarda 2500 MWg/ton değeri esas alınarak, bu değere karşılık beher kg. uranyum için kredi diyagramına göre 14 dolar yerine 28 dolar alınacağı gözönünde tutulur. 2500 MWg/ton lik bir yanma % 25 verimle çalışan bir santralda elde edilen enerjinin 15.000 kWh/kg olduğu görülür. (2500 X 24/4 = 15.000 kWh/kg.)

Bu suretle finanse edilen enerji zararı:

14 dolar/kg

----- = 0,0093 dolar /kWh bulunur.

15000 kWh/kg

150 megavatlık bir santralda, 6000 saat senelik çalışma süresi için yapılacak zarar. 150 x 1000 X 6000 x 0.00093 = 837.000 dolar Yanma miktarı 2500 MWg/ton'dan daha az olursa, zarar edilecek değer daha da artar. Eğer yanma miktarı 3500 MWg/ton alınacak olursa, beher kg. uranyumun değeri 14 dolar kalarak, zarar edilen miktar sıfır olur.

Eğer yanma miktarı 1000 MWg/ton olursa, beher kg. uranyumun değeri 50 dolar bulunur. Buna göre bir kg. için 50 — 14 = 36 dolar zarar edilir. Eğer yanma miktarı 500 MWg/ton olursa, beher kg. uranyum değeri 58 dolar olur. Buna göre beher kg. için 58 — 14 = 44 zarar bulunur.

Amerikalıların yaptığı hafif su reaktörlerinde yanma için garanti edilen miktar 10.000 MWg/ton kadardır. Fakat tatbikatta ancak 6000 MWg/

ton miktarına ulaşılmıştır. Bu şekilde yetersiz bir garantiden dolayı 22 \$/kg kaybedilir. Bu miktar kilovat saata çevrülürse, zarar miktarı 0,00059 \$/kWh olmaktadır. Bu takdirde kaybedilen meblağ : 150 MW x 6000 saat x 0,00059 \$/kWh = 531.000 dolardır.

Yanma değerinin garanti edilen miktardan çok farklı olması, yakıt giderlerini arttırmaktadır. Zira yakıt giderleri, yanma ile ters orantılıdır. Uzun sayılan bir süredenberi işletmede bulunan Amerikan Shipping Port atom santrali 60 MW lik olup, bu santralda ortalama yanma miktarı 600 MWg/ton olarak tahmin edilmektedir.

OEEC'nin temmuz 1960'de yayınlanan (C — 60 — 96 Annex V) işaretli enerji tahminleri için kurulan enerji danışma kurulu raporlarında, ortalama şu değerler alınmıştır.

— Termik verim: $n = \% 27$

— Kullanma faktörü : $t = \% -75$ (yani senede 6480 saat)

— Yanma miktarı: $Y_1 = 3000$ MWg/ton (tabii uranyum için)

— Yanma miktarı: $Y_2 = 10.000$ MWg/ton (zenginleştirilmiş uranyum için)

— Kurulu güç: $G = MW$

— Yıldaki gün sayısı = $S = 365$

— Bir yılda ton olarak kullanılacak yakıtın miktarı : M (ton)

$$M = \frac{G \times 1 \times t \times S \times 1}{71 \times Y}$$

1965 yılında, yurdumuzdaki toplam kurulu gücün 1700 MW olacağı kabul edilirse, yukarıdaki formüle göre, kullanma faktörü % 35 (yani yılda 3000 saat) alınır, 1965 yılında memleketimize lüzumlu takriben beş milyar kWh enerjinin, atom santrallerinden sağlanması halinde, yılda harcanacak tabii uranyum yakıtının miktarı:

$M_1 = 1700 \times 1/0,27 \times 0,35 \times 365 \times 1/3000 = 268$ ton.

Zenginleştirilmiş uranyum kullanılması halinde :

$M_2 = 1700 \times 1/0,27 \times 0,35 \times 365 \times 1/10.000 = 80$ ton uranyuma lüzum bulunur.

Halen kilovat saat başına 0,45 kg. Zonguldak kömürü yakan modern buhar santralleriyle, bu işin yapılabilmesi için, takriben 2,9 milyon ton Zonguldak kömürüne lüzum bulunur. Ağırlık farkının tabii uranyum için 8.500 ve zenginleştirilmiş uranyum için takriben 28.000 kat daha az olduğu görülür.

1*) Verim ve yanma miktarlarının bilinmesiyle enerji üretim maliyetini kolayca hesaplayabiliriz,

a) İngiliz tipi atom santrallerinde tabii uranyum için bir kg. dan 15.000 kWh lik enerji elde edilmektedir.

Bazı bölge santrallerinin adı	kurulu güç KW.	Üretilen Enerji 10 ³ KWh.	Ortalama satış fiyatı		Tesis bedeli 10 ³ TL.	Tesisin özel maliyeti	
			Belediye- lere (krş)	Endüstriye kuruş		TL/KW	\$/KW (1)
Sarıyar	2x40000	382.780 (960)	—	—	221.248	2.760	980("*)
Emet - Kayaköy	3x 1280C)	7.000 (962)	31,27	—	15 080	10 000	3.550
Göksu (Konya)	3x 3600	18.064 (960)	25	—	25 500	2.470	840C")
Kovada (1)	3x 2800	3.184 (960)	13,11	—	25.200	3.000	1.065
Seyhan	2x18000	151.349 (960)	20	9	154.429	4 300	1.525
Tortum	2x 5400	4.431 (960)	—	—	48.000	4.450	1580
İkizdere	3x 5200	10.000 (962)	19,73	—	43.000	2 760	980("*)
Siirt (Botan)	2x 450	4.000 (960)	39	24	13.000	14.500	5.150
Hazar (Elâzığ)	4x 3280(")	33.041 (960)	15,4	10,8	30.103	3,350	1.190C*)

(1) 1 \$ = 2,32 TL

(*) max güç 1500 kW. alınabilmekte, santral suyu kâfi gelmemektedir.

(•*) max. güç 9000 EW olduğuna göre maliyet bulunmuştur.

(**•) En ucuz özel maliyetli hidrolik santrallerimizin, atom enerjisi santralleriyle mukayesesi yapıldıkta, atom enerjili santrallerin % 60 daha ucuz olduğu görülmektedir.

b) Amerikan tipi atom santrallerinde zenginleştirilmiş beher kg. uranyumundan 50.000 kWh lik enerji elde edilir.

c) Taş kömürlü Zonguldak veya Kırıkkale'deki santrallerde beher kg kömürden 2,15 KWh lik enerji sağlanmaktadır. Zonguldak kömürünün ortalama kalorisi 6.140 Kcal/kg. kabul edilmiştir.

2) toplam enerji üretim giderleri şu şekilde özetlenebilir. Bütün kısımları Amerika'da yapılmış

reaktörler = A, çekirdek dış kısımları Almanya'da yapılmış reaktörler =B ise;

— Kilovat saat başına yakıt giderleri 3×10^{-3} dolar veya 18,2 kuruş

— Kilovat saat başına yakıt giderleri 3×10^{-3} dolar veya 4,2 kuruş,

— Kilovat saat başına toplam üretim giderleri $16,8 \times 10^{-3}$ dolar veya 22,7 kuruş bulunur.

Reaktör tipi	İngiliz	Basınçlı, Kaynar hafif sulu		Taş kömürlü	
		A	B	Zonguldak santrali	Kırıkkale
O.lul J ^{-^} K r § / R w h .	$10^{-3}\$/KWh.$ 13,5	11,6	9	4,1	4,1
	18,2	15,7	22,2	5,5	5,5
«kıl B·J-1»X K r § / K w h .	$10^{-3}\$/KWh.$ 3,3	5,2	4,3	5,2	7
	4,5	72	5,8	7	7
IfccUu J~1 _{C11} K r § / K w h .	$10^{-3}\$/KWh.$ 16,8	16,8	13,3	9,3	11,1
	22,7	22,7	18	12,5	15

Yukarıki tablonun tetkikinden : kömürden bugün için çok daha ucuz enerji sağlandığı görülmektedir. Ancak, dünya kömür rezervlerinin 65-70 sene sonra tükeneceği ve kömürün kimya endüstrisinin yegâne ham maddesi olduğu göz önün-

de tutulursa, kömürle çalışan santraller biran önce durdurularak, bunları atom santrallerine çevirmenin zamanı çoktan gelip geçmiştir. Kömürü yakıt olarak kullanmaya devam etmek artık bir cinayettir.